

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-274558

(43)Date of publication of application : 13.10.1998

(51)Int.Cl. G01H 17/00
G01M 19/00

(21)Application number : 09-259627 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(22)Date of filing : 25.09.1997 (72)Inventor : YAMANAKA HIROSHI
INOUE MASAKI
MAKINO SHIGERU

(30)Priority

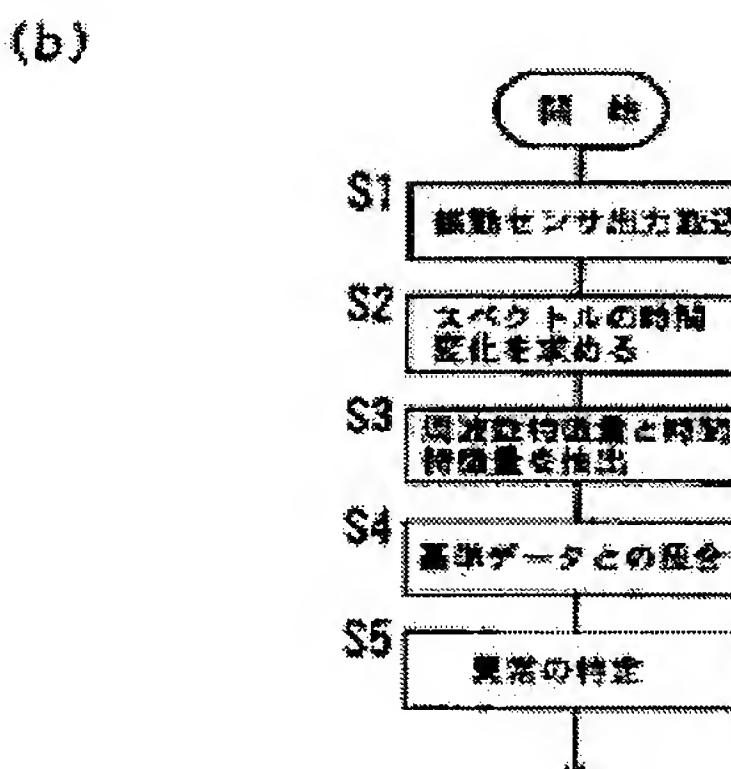
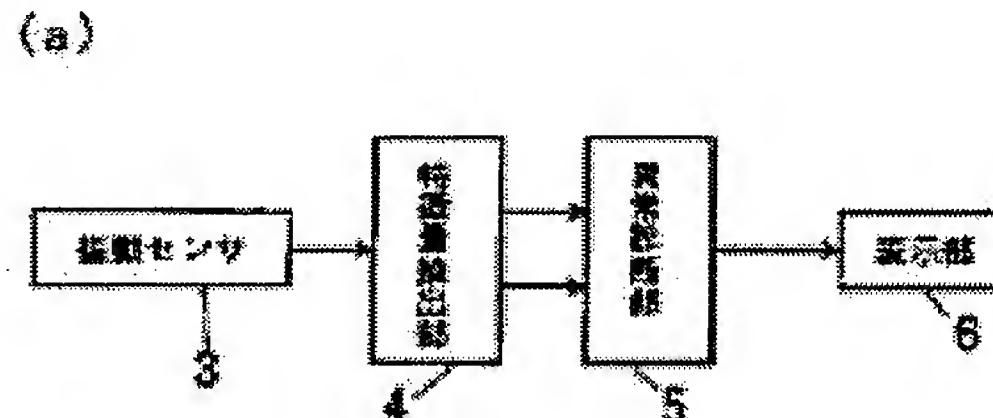
Priority number :	09 14395	Priority date :	28.01.1997	Priority country :	JP
-------------------	----------	-----------------	------------	--------------------	----

(54) ROTATING EQUIPMENT ABNORMALITY DIAGNOSTIC METHOD AND DEVICE THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately diagnose abnormality of rotating equipment by extracting frequency feature quantity and time feature quantity from waveform data.

SOLUTION: Waveform data of vibration or sound generated during rotation of rotating equipment is detected (S1). The time change of spectrum of the waveform data is obtained (S2). Frequency generating a peak from the time change of spectrum is obtained as the frequency feature quantity, and time intervals generating peaks every frequency feature quantity are obtained as the time feature quantity (S3). Sets of frequency feature quantity – time feature quantity during abnormality of the rotating equipment are previously registered as reference data by abnormality causes, and sets of frequency feature quantity – time feature quantity obtained from the waveform data during rotation of the rotating equipment are collated with the reference data (S4). Presence and sort of abnormality are specified from the collated result (S5).



CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]While detecting vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, asking for a temporal change of a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, A group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment, An abnormality diagnosing method of a rotating equipment specifying existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by comparing a group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity at the time of abnormalities of a rotating equipment with criterion data beforehand registered according to an abnormality cause.

[Claim 2]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 asking for a temporal change of a spectrum of a data point by performing short time Fourier transformation to the above-mentioned data point.

[Claim 3]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 asking for a temporal change of a spectrum of a data point by performing wavelet transform to the above-mentioned data point.

[Claim 4]Claim 1 using for temporal feature quantity a time interval which performs autocorrelation arithmetic to time series data of each frequency characteristic quantity, and from which an auto correlation value becomes a peak after calculating frequency characteristic quantity thru/or an abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 3.

[Claim 5]Claim 1 using for temporal feature quantity a reciprocal of frequency which performs Fast Fourier Transform to time series data of each frequency characteristic quantity, and from which the maximum is obtained after calculating frequency characteristic quantity thru/or an abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 3.

[Claim 6]Claim 1 using for temporal feature quantity a KEFURENSHI value which performs a cepstrum operation which performs Fast Fourier Transform twice to time series data of each frequency characteristic quantity, and from which the maximum is obtained after calculating frequency characteristic quantity thru/or an abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 3.

[Claim 7]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 calculating temporal feature quantity about two or more frequency characteristic quantity, respectively, and comparing each class of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity with criterion data.

[Claim 8]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 detecting revolving speed of a rotating equipment and amending temporal feature quantity according to revolving speed.

[Claim 9]While detecting vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, asking for a temporal change of a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, A group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment, An abnormality diagnosing method of a rotating equipment specifying existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by giving a neural network who made it learn beforehand so that a group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity at the time of abnormalities of a rotating equipment and an abnormality cause exception may be matched.

[Claim 10]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 or 9 using for temporal feature quantity for every frequency characteristic quantity a time interval at the time of setting up a reference value which carried out weighting for every frequency characteristic quantity, respectively, and time series data for every frequency characteristic quantity exceeding the above-mentioned reference value, respectively.

[Claim 11]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1, wherein it transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment and a driving source is made vibration-proof.

[Claim 12]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 keeping constant a tension of a belt [it transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment and a rotating equipment is driving] of a between.

[Claim 13]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 12 calculating a stretch amount of a belt by finding a wheel base of a driving source when a tension of a belt is made into constant value, and a rotating equipment.

[Claim 14]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 asking for a temporal change of a spectrum of a data point after transmitting power from a driving source via a belt to a rotating equipment and removing a frequency component of vibrational frequency of a belt from the above-mentioned data point.

[Claim 15]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 14 computing vibrational frequency of a belt based on a wheel base of a driving source and a rotating equipment, and a tension of a belt.

[Claim 16]An abnormality diagnosing method of the rotating equipment according to claim 1 locating a belt in a field which transmits power from a

driving source via a belt to a rotating equipment, and intersects perpendicularly with an axis of a driving source and a rotating equipment. [Claim 17] While asking for a temporal change of a vibration sensor which detects a data point like vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment, and a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, A feature quantity extracting part which asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, A group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment, An abnormality diagnosis device of a rotating equipment provided with an abnormality-diagnosis part which specifies existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by comparing a group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity at the time of abnormalities of a rotating equipment with criterion data beforehand registered according to an abnormality cause.

[Claim 18] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment [provided with a belt which transmits power from a driving source to a rotating equipment, and vibration buffer material which supports a driving source so that vibration of a driving source may not be transmitted to a rotating equipment] according to claim 17.

[Claim 19] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 18 having a sensor of a couple which detects vibration of both sides which sandwiched vibration buffer material, and having a means by which it asks for a transfer function of vibration buffer material based on an output of both sensors, and a change with time of a transfer function detects degradation of vibration buffer material.

[Claim 20] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment [provided with a linear guide which makes a driving source movable to a rotating equipment, and regulates a moving range of a driving source in a field containing a belt] according to claim 18.

[Claim 21] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment [provided with an air bearing which makes a driving source movable to a rotating equipment, and regulates a moving range of a driving source in a field containing a belt] according to claim 18.

[Claim 22] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 18 characterized by comprising the following.

A support means which supports a driving source movable to a rotating equipment.

A transportation device to which a driving source is moved.

[Claim 23] Claim 18 provided with distance sensors which detect distance of a driving source and a rotating equipment thru/or an abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 22.

[Claim 24] Establish an excitation means which excites a rotating equipment at the time of un-operating of a driving source, and an abnormality-diagnosis part, An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 17 judging existence of abnormalities of a mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor based on a data point detected with a vibration sensor when a rotating equipment is excited by an excitation means.

[Claim 25] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 24, wherein an excitation means is a voice coil motor.

[Claim 26] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 24, wherein an excitation means is the actuator which used the piezo-electric effect.

[Claim 27] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 25 or 26, wherein an excitation means is used also [vibration sensor].

[Claim 28] An abnormality diagnosis device of the rotating equipment according to claim 24, wherein an excitation means is a hammer which gives impulse force to a rotating equipment.

[Claim 29] In an abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source, based on an output of a vibration sensor, a gain of input and output is searched for in an abnormality-diagnosis part, An abnormality diagnosing method of a rotating equipment checking existence of abnormalities of a mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor by comparing with a normal range which has set up this gain beforehand.

[Claim 30] In an abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source, based on an output of a vibration sensor, a gain of input and output on two or more frequency is searched for in an abnormality-diagnosis part, An abnormality diagnosing method of a rotating equipment which calculates a correlation value with data for check beforehand set to a gain searched for, and is characterized by checking existence of abnormalities of a mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor by comparing with a threshold which has set up a calculated correlation value beforehand.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the abnormality diagnosing method of a rotating equipment, and its device.

[0002]

[Description of the Prior Art] Various kinds of rotating equipments which generally rotate an electric motor and an internal-combustion engine as a driving source of torque are provided. When a certain abnormalities arise in this kind of rotating equipment, it is known that a different vibration from always and a sound will occur.

When a drive is continued in such the state, a rotating equipment may be damaged depending on the case.

[0003] Then, the spectrum pattern obtained by performing Fast Fourier Transform (FFT) to a data point like vibration generated from a rotating equipment, or a sound conventionally, The spectrum pattern at the time of the abnormalities set up beforehand is compared, and it considers diagnosing the existence of the abnormalities of a rotating equipment based on a comparison result (JP,S62-93620,A).

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, since art given in the above-mentioned gazette judges abnormalities only using a spectrum pattern, The kind of abnormalities cannot be distinguished about a case (for example, abnormalities that generation time intervals differ even if a spectrum pattern is equal) so that a spectrum pattern may become equal about abnormalities of a different kind.

[0005] Succeeding in this invention in view of the above-mentioned reason, the purpose is to provide the abnormality diagnosing method of the rotating equipment whose judgment was enabled to the classification of abnormalities, and its device by extracting more information from a data point.

[0006]

[Means for Solving the Problem] An invention of Claim 1 detects vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, While asking for a temporal change of a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, Existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment are specified by comparing a group of frequency [group / of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment] characteristic quantity [at the time of abnormalities of a rotating

equipment]–temporal feature quantity with criterion data beforehand registered according to an abnormality cause.

[0007]An invention of Claim 2 asks for a temporal change of a spectrum of a data point by performing short time Fourier transformation to a data point in an invention of Claim 1. An invention of Claim 3 asks for a temporal change of a spectrum of a data point by performing wavelet transform to a data point in an invention of Claim 1. In an invention of Claim 1 thru/or Claim 3, after an invention of Claim 4 calculates frequency characteristic quantity, it performs autocorrelation arithmetic to time series data of each frequency characteristic quantity, and uses for temporal feature quantity a time interval from which an auto correlation value becomes a peak.

[0008]In an invention of Claim 1 thru/or Claim 3, after an invention of Claim 5 calculates frequency characteristic quantity, it performs Fast Fourier Transform to time series data of each frequency characteristic quantity, and uses for temporal feature quantity a reciprocal of frequency from which the maximum is obtained. In an invention of Claim 1 thru/or Claim 3, after an invention of Claim 6 calculates frequency characteristic quantity, it performs a cepstrum operation which performs Fast Fourier Transform twice to time series data of each frequency characteristic quantity, and uses for temporal feature quantity a KEFURENSHI value from which the maximum is obtained.

[0009]In an invention of Claim 1, an invention of Claim 7 calculates temporal feature quantity about two or more frequency characteristic quantity, respectively, and compares each class of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity with criterion data. In an invention of Claim 1, an invention of Claim 8 detects revolving speed of a rotating equipment, and amends temporal feature quantity according to revolving speed.

[0010]An invention of Claim 9 detects vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, While asking for a temporal change of a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, A group of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment, By giving a neural network who made it learn beforehand so that a group of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity at the time of abnormalities of a rotating equipment and an abnormality cause exception may be matched, existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment are specified.

[0011]In an invention of Claim 1 or Claim 9, an invention of Claim 10 sets up a reference value which carried out weighting for every frequency characteristic quantity, respectively, and uses a time interval at the time of time series data for every frequency characteristic quantity exceeding the above-mentioned reference value, respectively for temporal feature quantity for every

frequency characteristic quantity. An invention of Claim 11 transmits power from a driving source via a belt in an invention of Claim 1 to a rotating equipment, and a driving source is made vibration-proof.

[0012]In an invention of Claim 1, an invention of Claim 12 transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment, and keeps constant a tension of a belt [a rotating equipment is driving] of a between. An invention of Claim 13 calculates a stretch amount of a belt in an invention of Claim 12 by finding a wheel base of a driving source when a tension of a belt is made into constant value, and a rotating equipment.

[0013]In an invention of Claim 1, an invention of Claim 14 transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment, and after it removes a frequency component of vibrational frequency of a belt from the above-mentioned data point, it asks for a temporal change of a spectrum of a data point. An invention of Claim 15 computes vibrational frequency of a belt in an invention of Claim 14 based on a wheel base of a driving source and a rotating equipment, and a tension of a belt.

[0014]In an invention of Claim 1, an invention of Claim 16 transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment, and locates a belt in a field which intersects perpendicularly with an axis of a driving source and a rotating equipment. A vibration sensor which detects a data point [like vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment] whose invention of Claim 17 is, While asking for a temporal change of a spectrum of this data point and asking for frequency which produces a peak from a temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, A feature quantity extracting part which asks for a time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, A group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity calculated from a data point at the time of rotation of a rotating equipment, It has an abnormality-diagnosis part which specifies existence and an abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by comparing a group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity at the time of abnormalities of a rotating equipment with criterion data beforehand registered according to an abnormality cause.

[0015]An invention of Claim 18 is provided with a belt which transmits power from a driving source to a rotating equipment, and vibration buffer material which supports a driving source so that vibration of a driving source may not be transmitted to a rotating equipment in an invention of Claim 17. In an invention of Claim 18, an invention of Claim 19 is provided with a sensor of a couple which detects vibration of both sides which sandwiched vibration buffer material, asks for a transfer function of vibration buffer material based on an output of both sensors, and is provided with a means by which a change with time of a transfer function detects degradation of vibration buffer material.

[0016]In an invention of Claim 18, an invention of Claim 20 makes a driving

source movable to a rotating equipment, and is provided with a linear guide which regulates a moving range of a driving source in a field containing a belt. In an invention of Claim 18, an invention of Claim 21 makes a driving source movable to a rotating equipment, and is provided with an air bearing which regulates a moving range of a driving source in a field containing a belt.

[0017]An invention of Claim 22 is provided with a support means which supports a driving source movable to a rotating equipment, and a transportation device to which a driving source is moved in an invention of Claim 18. An invention of Claim 23 is provided with distance sensors which detect distance of a driving source and a rotating equipment in an invention of Claim 18 thru/or Claim 22.

[0018]An invention of Claim 24 establishes an excitation means which excites a rotating equipment at the time of un-operating of a driving source in an invention of Claim 17, and an abnormality-diagnosis part, When a rotating equipment is excited by an excitation means, existence of abnormalities of a mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor based on a data point detected with a vibration sensor is judged. An invention of Claim 25 uses an excitation means as a voice coil motor in an invention of Claim 24.

[0019]An invention of Claim 26 uses an excitation means as an actuator using the piezo-electric effect in an invention of Claim 24. As for an invention of Claim 27, in an invention of Claim 25 or Claim 26, an excitation means is used also [vibration sensor]. An invention of Claim 28 makes an excitation means a hammer which gives impulse force to a rotating equipment in an invention of Claim 24.

[0020]In an abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28 an invention of Claim 29, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source, based on an output of a vibration sensor, a gain of input and output is searched for in an abnormality-diagnosis part, Existence of abnormalities of a mechanical system containing a rotating equipment and a vibration sensor is checked by comparing this gain with a normal range set up beforehand.

[0021]In an abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28 an invention of Claim 30, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source, based on an output of a vibration sensor, a gain of input and output on two or more frequency is searched for in an abnormality-diagnosis part, A correlation value with data for check beforehand set to a gain searched for is calculated, and existence of abnormalities of a mechanical system containing a rotating equipment and a vibration sensor is checked by comparing with a threshold which has set up a calculated correlation value beforehand.

[0022]

[Embodiment of the Invention]

(Embodiment 1) In this embodiment, as shown in drawing 2, the rotating

equipment which is the target of abnormality diagnosis is the electromagnetic clutch 2, and is rotated via the belt 21 by making the motor 1 into a driving source.

[0023]It explains in more detail. As shown in drawing 3, in the base 10 fixed to regular positions, such as a floor, it is arranged so that the slide of the motor plate 13 may be attained on a straight line via the linear guide 12 attached to the motor base 11 fixed on the base 10. The motor 1 as a driving source is fixed to the holding stand 15 fixed on this motor plate 13 via the vibration buffer material 14. The sliding direction of the motor plate 13 is in the field which intersects perpendicularly with the output shaft of the motor 1, and is regulated horizontally. The rising pieces 11a and 15a are formed in the motor base 11 and the holding stand 15, and the vibration buffer material 14a is infixed also among both the rising pieces 11a and 15a.

[0024]The torque of the motor 1 is transmitted to the electromagnetic clutch 2 which is a rotating equipment via the belt 21 hung about on the output shaft. The electromagnetic clutch 2 is provided with the following.

The clutch pulley 2a on which the belt 21 was hung about as shown in drawing 4.

The 1st and 2nd boss 2b, 2c which both ends rotate with the axis of rotation 23 supported pivotally with the bearings 22a and 22b.

The coil 25 fixed to the bearing 22a.

Although 1st boss 2b has adhered to the axis of rotation 23, it is combined by the spline to 1st boss 2b, and the 2nd boss 2c is movable to the shaft orientations of the axis of rotation 23. Rotation of the clutch pulley 2a is attained via the bearing 23c to the axis of rotation 23. If a deer is carried out and an exciting current is sent through the coil 25, the clutch pulley 2a is adsorbed magnetically and the 2nd boss 2c can transmit torque to boss 2b from the clutch pulley 2a.

[0025]The bearings 22a and 22b are held at the bearing stands 26a and 26b, respectively, and as shown in the bearing stand 26a at drawing 3, the vibration sensor 3 is arranged. As long as the vibration sensor 3 changes vibration of the bearing stand 26a into electric oscillation, it may use what kind of thing. By the way, when the vibration sensor 3 detects vibration of the electromagnetic clutch 2 as a rotating equipment, the motor 1 and the electromagnetic clutch 2 are combined in the following procedures. First, after attaching the electromagnetic clutch 2, the output shaft and the clutch pulley 2a of the motor 1 are built over the belt 21. Like drawing 3 (a), by bringing near the motor plate 13 by the way of the bearing stands 26a and 26b, loosen the belt 21 and like drawing 3 (b) after that in this stage, By separating the motor plate 13 from the bearing stands 26a and 26b, it is made for a regular tension to start the belt 21, and the motor base 11 and the motor plate 13 are fixed in this position. Here, since the motor plate 13 is moved using the linear guide 12, the motor plate 13 can be smoothly moved to the motor base 11, and horizontal power cannot act to the vibration buffer material 14, but the

fall of cushioning capacity can be prevented.

[0026]Next, if the motor 1 is rotated, since the electromagnetic clutch 2 will rotate, the vibration analysis later mentioned based on the output of the vibration sensor 3 in this state is conducted, poor existence is detected, and that cause is specified if there is a defect. Since the vibration buffer material 14 and 14a is formed between the base 10 and the motor 1, Vibration transmitted to the base 10 from the motor 1 can be attenuated substantially, and it controls that vibration of the motor 1 is detected as a noise with the vibration sensor 3, and it can separate from a noise and vibration of the electromagnetic clutch 2 as a rotating equipment can be detected. After specifying poor existence and its cause by a vibration analysis, the motor 1 is stopped, the motor plate 13 is moved for reverse with above-mentioned direction, the belt 21 is removed, and the electromagnetic clutch 2 is removed. It becomes possible to be able to detect the poor existence of the electromagnetic clutch 2 in such a procedure, and to also specify the poor cause.

[0027]It may replace with the linear guide 12, and as shown in drawing 5, the air bearing 16 may be used. While having the slider 16a which the air bearing 16 is being fixed to the motor base 11, and is fixed to the undersurface side of the motor plate 13, The slider 16a is stored so that surfacing in the bushing 16b is possible, and it is surfaced by spraying the compressed air introduced through the channel 16c established in the bushing 16b on the slider 16a, without contacting the slider 16a to the bushing 16b. Therefore, it becomes possible to move the motor plate 13 to the motor base 11 still more smoothly than the linear guide 12.

[0028]If the vibration buffer material 14 and 14a deteriorates in many years past, since a noise will increase, it is necessary to detect the existence of degradation also about the vibration buffer material 14 and 14a. Then, as shown in drawing 6, the vibration sensors 3a and 3b are arranged, respectively in the proper place of the motor plate 13, and the proper place of the base plate 10, the motor 1 is rotated in the state where the belt 21 is not hung, and vibration of the motor plate 13 and vibration of the base plate 10 are detected. Thus, if vibration is analyzed, since it can ask for the transfer function from the motor plate 13 to the base plate 10, it will become possible by asking for a secular change of a transfer function periodically to check a secular change of the vibration buffer material 14 and 14a. For example, when the transfer function at the time of normal deteriorates according to ** of drawing 7, and aging, a transfer function becomes like ** of drawing 7.

[0029]By the way, although the device shown in drawing 2 moves the motor plate 13 by manual operation, it can form the air cylinder 17 as shown in drawing 8 as a driving means to which the motor plate 13 is moved. It has the rod 17a which expanded and contracted the air cylinder 17 in the sliding direction of the motor plate 13, and was combined with the motor plate 13, and the amount of elasticity of a rod is adjusted by pneumatic pressure.

Therefore, like the composition shown in drawing 2, before hanging the belt 21, the motor plate 13 is brought near by the way of the bearing stands 26a and 26b. After applying the belt 21, by the air cylinder 17, the motor plate 13 is moved and a predetermined tension should just be acquired by the belt 21. Of course, when removing the belt 21, the rod 17a of the air cylinder 17 is moved to a projection direction, and the belt 21 is loosened.

[0030]It is also possible to replace with the air cylinder 17 and to use the voice coil motor 18 as a driving means to which the motor plate 13 is moved, as shown in drawing 9. The voice coil motor 18 arranges the permanent magnet 18b to the medial surface of up-and-down both the pieces in the figure of the yoke 18a of approximately E type, inserts a center piece in the coil 18c of an air core, and the coil 18c moves it along with the longitudinal direction of a center piece by sending an exciting current through the coil 18c. Since the position of the coil 18c is decided according to an exciting current, if it gives a proper current command value to the driver 18d and an exciting current is controlled, it can control the position of the coil 18c only by a current command value. It is combined with the motor plate 13 via the rod 18e, and the coil 18c can move the motor plate 13 according to the above-mentioned current command value.

[0031]By the way, since the vibration buffer material 14 and 14a exists between the motor 1 and the vibration sensor 3, the vibration of the motor 1 itself is hardly transmitted to the vibration sensor 3, but vibration of the belt 21 will be detected by the vibration sensor 3. Since it can consider that the vibrational frequency of the belt 21 is almost constant while conducting the vibration analysis of the electromagnetic clutch 2 as a subject of examination, If this vibrational frequency is measured beforehand, a filter from which this vibrational frequency is removed is formed and the noise by vibration of the belt 21 is removed from the output of the vibration sensor 3, Noises other than the vibration component produced from the output of the vibration sensor 3 with the electromagnetic clutch 2 will be removed, and it becomes possible to raise the accuracy of the vibration analysis of the electromagnetic clutch 2.

[0032]Vibrational frequency f_B [of the belt 21] (Hz) is a function with the weighted solidity a (kg/m) it is decided with the size and construction material of the belt 21 that will be wheel base [of tension T_B / (N), and the output shaft of the motor 1 and the axis of rotation 23 of the electromagnetic clutch 2] L (m), and is expressed like a following formula.

$$f_B = T_B / (4a\pi L^2 - a)$$

When asking for vibrational frequency f_B of the belt 21 using an upper type, the weighted solidity a may consider that it is almost fixed, tension T_B -- the size (the air cylinder 17 -- pneumatic pressure.) of the load of the air cylinder 17 or the voice coil motor 18 the voice coil motor 18 -- a current value -- it

can know — since it can know, it becomes possible to apply an upper type by forming a means to get to know the wheel base L. Then, as shown in drawing 10, the distance sensors 27 for measuring the distance between the regular positions of the motor plate 13 and the base plate 10 are provided. The distance sensors 27 find the wheel base L based on the distance between both the distance sensors 27 using an optical thing.

[0033]Since tension T_B and the wheel base L can be adjusted, it becomes possible to correspond to change of vibrational frequency f_B by change of the stretch amount of the belt 21. For example, if it controls to keep vibrational frequency f_B constant, a noise can be removed, without changing the pass band of a filter. If distance is measured with the distance sensors 27 by making the tension of the belt 21 into the conditions, change of the length of the belt 21 can be known. Then, if the belt 21 deteriorates and it notes that the stretch amount of the belt 21 becomes large, the degradation state of the belt 21 can be checked by change of the length of the belt 21. That is, when the length of the belt 21 at the time of normal is measured, the length of the belt 21 is checked periodically and a stretch amount reaches a predetermined value (for example, 5%), it becomes possible to urge exchange of the belt 21.

[0034]It cannot be overemphasized that the position of the electromagnetic clutch 2 in the longitudinal direction of the axis of rotation 23 is adjusted so that the belt 21 may be contained in the field which intersects perpendicularly with the output shaft and the axis of rotation 23 of the motor 1. By this, a slide does not occur between the output shaft of the motor 1, the clutch pulley 2a, and the belt 21, but generating of an unnecessary vibration component can be controlled.

[0035]The vibration analysis based on the output of the vibration sensor 3 is conducted as follows. That is, like drawing 1 (a), in the feature quantity extracting part 4, frequency characteristic quantity and temporal feature quantity are extracted from the output of the vibration sensor 3, and it inputs into the abnormality-diagnosis part 5. By comparing with frequency characteristic quantity, temporal feature quantity, and the criterion data mentioned later, the abnormality-diagnosis part 5 searches for the existence of abnormalities, and the kind of abnormalities, and displays the result on the indicator 6.

[0036]The fundamental procedure of a vibration analysis becomes like drawing 1 (b). First, the output of the vibration sensor 3 is incorporated (S1). Next, since the output of the vibration sensor 3 is a data point, it asks for the temporal change of the spectrum of this data point (S2). That is, it asks for the relation between the frequency of a data point, time, and power. It asks for the temporal change of a spectrum by performing an operation called short time Fourier transformation (STFT) or wavelet transform to a data point. These operations are mentioned later.

[0037]If the relation between the frequency of the output of the vibration

sensor 3, time, and power can be found as mentioned above, the characteristic information in the relation of the frequency, time, and power which are generated when abnormalities arise in a rotating equipment will be extracted as characteristic quantity (S3). As characteristic quantity, the frequency (henceforth frequency characteristic quantity) which has a peak at the time of an abnormal occurrence, and a time interval (henceforth temporal feature quantity) in case power exceeds the reference value P_s for every frequency characteristic quantity are used. If such frequency characteristic quantity and temporal feature quantity are made into a group, it receives unusually, and the group of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity becomes the almost same value with a rotating equipment of the same kind, and will have a different value from which it receives unusually and the group of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity differs. Although the reference value P_s can be set up suitably, it can be set to $P_s = \mu + 3\sigma$, $P_s = \mu + 2\sigma$ etc. using the average value μ and the standard deviation σ of power in a data point in an excellent article. If the latter reference value P_s is used, since the detection probability of frequency characteristic quantity increases, it will become possible to identify many abnormalities using more information, but since processing time becomes long according to increase of the amount of information, it is enough, if the former reference value P_s is used when there are few kinds of abnormalities which should be identified. Since the size of a peak does not necessarily become the same with each frequency characteristic quantity, it is desirable to set the reference value P_s as a different value for every frequency characteristic quantity. That is, it is equivalent to performing weighting for every frequency characteristic quantity.

[0038] Then, frequency characteristic quantity and temporal feature quantity are beforehand calculated about various kinds of abnormalities of a rotating equipment. The group of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity is registered according to various abnormalities as criterion data, and the group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity calculated from the data point produced at the time of rotation of a rotating equipment is compared with criterion data (S4). As shown in drawing 11, for example, two or more kinds frequency characteristic quantity f_1, f_2 , and ...,

The table with two or more kinds of temporal feature quantity ta, tb , and which matched the kind of abnormalities with combination is created as criterion data, and the group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity extracted from the data point obtained at the time of rotation of a rotating equipment is compared with this table. When it is a defect (R_1) who has a crack in the inside of a bearing in the example of a graphic display when the groups of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity are (f_1, ta) , and (f_1, tb) , he shall be the loose connection 2 (R_3) at the time of the loose connection 1 (R_2), and (f_2, tb) . Loose connection

is a defect about contact with a bearing and the axis of rotation, contact with the clutch pulley 2a of the electromagnetic clutch 2, and the boss 2c, etc. Although it has the frequency characteristic quantity f_1 with same crack and loose connection 1 of a bearing in this example, In the case of the crack of a bearing, the peak of frequency characteristic quantity f_1 arises in the time interval equivalent to the rotational cycle of the member rolled inside a bearing, and the member which the member touches, and in being the loose connection 1 and the loose connection 2, the peak of frequency characteristic quantity f_2 arises in the time interval equivalent to the rotational cycle of a rotating equipment. Thus, both are identified by difference of temporal feature quantity. Similarly, although the loose connection 1 and the loose connection 2 are the same temporal feature quantity tb , since frequency characteristic quantity differs, it is identifiable.

[0039]If the group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity is compared with criterion data and it judges whether it is in agreement as mentioned above, the existence of abnormalities and the kind of abnormalities can be specified (S5). In the case of collation, it is required to give some width to frequency characteristic quantity and temporal feature quantity. By the way, in order to ask for the temporal change of a spectrum from a data point, it is necessary to search for a spectrum with a comparatively short time interval. As this kind of art, short time Fourier transformation and wavelet transform are known. A vibration analysis becomes possible only with the output of the one vibration sensor 3, without using many filters for every frequency characteristic quantity, in order to calculate frequency characteristic quantity, if such art is used.

[0040]These conversion is explained briefly. As for short time Fourier transformation, the local spectrum [in / considering a window function as $w(t, \Delta t)$ / the data point which should be measured can be set to $x(t)$, and / time t_0] $X_s(t_0, w)$ is searched for with the Fourier transform of $x(t) w(t-t_0, \Delta t)$. That is, it becomes like several 1.

[0041]

[Equation 1]

$$X_s(t_0, w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) w(t - t_0, \Delta t) \exp(-j\omega t) dt$$

[0042]A temporal change of a spectrum which performed and asked for short time Fourier transformation a data point which was mentioned above, and which it receives unusually in some numbers and is an output of the vibration sensor 3 becomes like drawing 12 thru/or drawing 14 for example, respectively. According to these figures, it turns out that frequency characteristic quantity f_1, f_2 and the temporal feature quantity ta which were mentioned above, and tb are obtained, and a kind of abnormalities can be

specified with combination of frequency characteristic quantity and temporal feature quantity.

[0043]On the other hand, wavelet transform has the feature in a point using a window function which carries out zooming to a time base direction called a wavelet function, and asks for a convolution of the original data point and a wavelet function. That is, a times as much scale conversion is performed to a window function used as a standard of a wavelet function of the Mother wavelet $\psi(t)$, only b shifts the starting point to it, and wavelet function ψ_a

and b (t) perform wavelet transform like several 2 using this.

[0044]

[Equation 2]

$$g(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{a} \Psi_{a,b}(t) x(t) dt$$

$$\text{ただし、} \Psi_{a,b}(t) = \sqrt{a} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

[0045]In wavelet transform, since zooming of the window function is carried out to a time base direction, as shown in drawing 15, time resolution can be made high as the high frequency region of a data point, and, in a low frequency region, frequency resolution becomes high. Although it assumes between vibration analyses that it is that to which temporal feature quantity is not changed in the above-mentioned example, the revolving speed of the motor 1 may have a wow and flutter. Then, if means (rotary encoder etc.) to detect the revolving speed of a rotating equipment are formed and temporal feature quantity is amended according to revolving speed, even when revolving speed has unevenness, abnormality diagnosis can be performed with sufficient accuracy.

[0046](Embodiment 2) When carrying out like the above-mentioned embodiment and calculating temporal feature quantity from the temporal change of a spectrum, in Embodiment 1, power makes the time interval exceeding a reference value temporal feature quantity, but. Thus, since the time interval for which it asked may include an error, it needs to determine temporal feature quantity in consideration of an error. For example, as shown in drawing 16, in the temporal feature quantity ta , error Δt_1 , Δt_2 , and Δt_3 may arise. Then, the time series data about each frequency characteristic quantity are created, and autocorrelation arithmetic is performed. When time series data are expressed with $f(t)$ about one frequency characteristic quantity now, autocorrelation-function $\phi_{xx}(\tau)$ is expressed like several 3. If it asks for such autocorrelation-function $\phi_{xx}(\tau)$, since it will become asking for autocorrelation-function $\phi_{xx}(\tau)$ like

drawing 17, the periodicity of time-series-data $f(t)$ can be known, and temporal feature quantity can be determined.

[0047]It may replace with autocorrelation-function $\phi_{xx}(\tau)$ to time series data of frequency characteristic quantity, and Fast Fourier Transform (FFT) may be performed. In this case, since a sharp peak arises in specific frequency as shown in drawing 18, a reciprocal of this frequency can be determined as temporal feature quantity. However, two or more peaks depended on harmonic content as it is shown in drawing 19, when Fast Fourier Transform is performed as it is a waveform which a peak of a data point produced at the time of abnormalities decreases for a short time occur, and temporal feature quantity may be unable to be specified. So, in such a case, after performing Fast Fourier Transform, Fast Fourier Transform is further performed to the data, and it is made to perform what is called a cepstrum operation. In this case, as shown in drawing 20, a sharp peak arises in temporal feature quantity, and temporal feature quantity can be determined as it.

[0048](Embodiment 3) this embodiment, if abnormalities have arisen in each part when a case where two or more kinds of abnormalities have arisen simultaneously is shown and a rotating part of a rotating equipment touches [for example,] to a fixed portion at two places, As shown in drawing 21, 2 kinds of frequency characteristic quantity f_3 and f_4 will be detected simultaneously. In such a case, after asking for each frequency characteristic quantity f_3 and f_4 , a group of frequency characteristic quantity-temporal feature quantity can be specified by asking every each frequency characteristic quantity f_3 and f_4 for the temporal feature quantity t_c and t_d , respectively. Therefore, as shown in drawing 22, abnormality cause R_3 and R_4 can be specified by collation with criterion data.

[0049](Embodiment 4) This embodiment identifies a kind of abnormalities by inputting a group of frequency characteristic quantity and temporal feature quantity into a neural network, without comparing with criterion data based on a table. As specifically shown in drawing 23, in the feature quantity extracting part 4, frequency characteristic quantity and temporal feature quantity are extracted from an output of the vibration sensor 3, and it inputs into the abnormality-diagnosis part 5 using a neural network. By giving a learning signal corresponding to the abnormality cause from the outside, the abnormality-diagnosis part 5 is made to learn by well-known technologies, such as back propagation, and functions as a sorter while known receives unusually in some numbers and it gives frequency characteristic quantity and temporal feature quantity. Therefore, if frequency characteristic quantity and temporal feature quantity are given to the abnormality-diagnosis part 5, an output corresponding to an abnormality cause will be generated. In this case, when there are two or more kinds of groups in frequency characteristic quantity and

temporal feature quantity like Embodiment 3, a group of frequency characteristic quantity—temporal feature quantity will be given to the abnormality-diagnosis part 5 in order. What is necessary is making it just display a diagnostic result by the abnormality-diagnosis part 5 on the proper indicator 6.

[0050](Embodiment 5) This embodiment adds the voice coil motor 31 as an excitation means to composition of Embodiment 1 shown in drawing 8, as shown in drawing 24. The voice coil motor 31 is mechanically combined with the bearing stand 26a. The voice coil motor 31 is provided with the following. It has the same composition as the voice coil motor 18 shown in drawing 9, and is the yoke 31a.

Permanent magnet 31b.

The air-core coil (voice coil) 31c.

The permanent magnet 31b is magnetized so that a medial surface and lateral surface may become heteropolarity, and according to direction of an exciting current sent through the coil 31c, the coil 31c carries out rectilinear-propagation movement at a longitudinal direction of a center piece of the yoke 31a. The yoke 31a and the coil 31c are combined with the return spring 32, and while not sending an exciting current through the coil 31c, the coil 31c is held in a regular position to the yoke 31a. A coil spring, diaphragm-like flat spring, etc. are used for the return spring 32. One end of the connecting shaft 33 is combined with the coil 31c, and the weight 34 is combined with the other end of the connecting shaft 33. The connecting shaft 33 is held by the bearing stand 24 which was set up by the base 10 and provided with a thrust block. An exciting current sent through the coil 31c is controlled by giving a proper current command value to the driver 31d. The yoke 31a is combined with the bearing stand 26a.

[0051]Vibration can be added to the bearing stand 26a by carrying out a deer and making into pulse form thru/or sine wave shape, etc. current sent through the coil 31c. That is, according to an exciting current to the coil 31c, the yoke 31a and the coil 31c tend to move relatively, and vibration can be added to the bearing stand 26a by attaching the weight 34 of proper mass to the coil 31c side.

[0052]It is going to detect whether this embodiment has abnormalities in neither a mounting state over the bearing stand 26a of the vibration sensor 3, nor a mounting state over the bearing stand 26a of the electromagnetic clutch 2, and is made to have driven the voice coil motor 31 in the state where the motor 1 is not driven. Specifically, the abnormality-diagnosis part 5 judges existence of abnormalities in the following procedures.

[0053]First, the belt 21 is hung about between the motor 1 and the clutch pulley 2a of the electromagnetic clutch 2 like a case where a vibration analysis of the electromagnetic clutch 2 is conducted. At this time, as shown in drawing 24, the belt 24 is loosened by bringing near the motor plate 13 by the bearing stands 26a and 26b. Then, where it moved the motor plate 13 and

a necessary tension is applied to the belt 21, the motor plate 13 is fixed to the base 10.

[0054]Then, the voice coil motor 31 is driven, the bearing stand 26a is vibrated, and a ratio (= P_o/π) of the electric power P_i given to the voice coil motor 31 and power P_o of vibration detected with the vibration sensor 3 is calculated about two or more frequency. As for this ratio, since it is equivalent to a gain of input and output and a numerical value becomes comparatively small, it is desirable to search for the gain G converted into a decibel with a following formula.

$$G=10 \log (P_o/\pi)$$

As compared with the upper limit G_s as a threshold and the lower limit G_i (value which generally subtracted and added constant value to the average value of the gain G at the time of normal) which were set up based on a gain searched for when a device was normal, as shown in drawing 25 (a), When the gain G searched for is between the upper limit G_s and the lower limit G_i (that is, $G_i < G < G_s$), the vibration sensor 3 shakes to the bearing stand 26a, and is attached that there is nothing, and it is judged that the electromagnetic clutch 2 is held certainly at the bearing stand 26a. Normal and abnormalities of a device can be checked by performing such judgment about two or more frequency. The gain G will be searched for in here, changing [can know frequency distribution of the gain G by one magnetization, and] frequency, when an exciting current is sine wave shape, if an exciting current given to the voice coil motor 31 is pulse form. If a device has abnormalities, as shown in drawing 25 (b), the gain G searched for will deviate from between the upper limit G_s and the lower limits G_i .

[0055]As an excitation means, as shown in drawing 26, the actuator 35 using the piezo-electric effect may be used. Vibration can be added to the bearing stand 26a as well as the voice coil motor 31 also with this kind of actuator 35. And a drive by high frequency is possible for this kind of actuator 35, and it can take a wide test-frequency range rather than the voice coil motor 31. Although power applied to the bearing stand 26a according to a command value of a voltage signal given from the outside can change this kind of actuator 35, it is also possible to obtain a voltage output from the actuator 35 conversely according to power applied to the bearing stand 26a. Then, part mark can be reduced by using the actuator 35 which is an excitation means also [vibration sensor / 3]. However, with this composition, a period which vibrates the bearing stand 26a with the actuator 35, and a period using the actuator 35 as the vibration sensor 3 have shifted timing. A voltage signal of pulse form thru/or sine wave shape is given to measurement of the gain G .

[0056]As an excitation means, as shown in drawing 27, the hammer 36 may be used. The hammer 36 is driven by driving sources, such as a solenoid which is not illustrated, and gives impulse force to the bearing stand 26a. If the hammer 36 is used, since impulse force will be given, vibration which contains many frequency components with 1 time of a shock can be given to the

bearing stand 26a. After giving impulse force, since the hammer 36 separates from the bearing stand 26a, it can detect more correctly a vibrational state of a mechanical system containing the vibration sensor 3 and the bearing stand 26a. Here, the load cell 37 can be formed in a part which makes impulse force act on the bearing stand 26a in the hammer 36, and impulse force given to the bearing stand 26a can be correctly measured by measuring impulse force.

[0057]Although it accepts whether the gain G is within the limits of the upper limit G_s and the lower limit G_i , it comes out in this embodiment and normal and abnormalities are judged, For example, similarity will not be seen by pattern of frequency distribution of the gain G of that whose gain G is within the limits of the upper limit G_s and the lower limit G_i if it has a form as frequency distribution of the gain G shows to drawing 28. In such a case, it is common for a device not to be normal. Then, while using average value with the upper limit G_s and the lower limit G_i as data for check, this average value and a correlation value with the gain G are calculated, and it may be made to judge a calculated correlation value that a correlation value is normal at the time beyond of a threshold (that is, similarity is high) as compared with a threshold.

[0058]

[Effect of the Invention]The invention of Claim 1 detects vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, While asking for the temporal change of the spectrum of this data point and asking for the frequency which produces a peak from the temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for the time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, The group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity calculated from the data point at the time of rotation of a rotating equipment, It is what specifies the existence and the abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by comparing the group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity at the time of the abnormalities of a rotating equipment with the criterion data beforehand registered according to the abnormality cause, Since an abnormality cause is specified combining frequency characteristic quantity and temporal feature quantity, there is an advantage that the discriminating precision of an abnormality cause becomes high as compared with what specifies an abnormality cause only using frequency like before.

[0059]When it asks for the temporal change of the spectrum of a data point by performing short time Fourier transformation to a data point like the invention of Claim 2, there is an advantage that frequency characteristic quantity and temporal feature quantity can be calculated without using many filters based on one data point. If it asks for the temporal change of the spectrum of a data point by performing wavelet transform to a data point like the invention of Claim 3, In a high frequency region, since time resolution becomes high and frequency resolution becomes high in a low frequency

region, there is an advantage that frequency characteristic quantity and temporal feature quantity can be extracted efficiently.

[0060]Like the invention of Claim 4, after calculating frequency characteristic quantity, autocorrelation arithmetic is performed to the time series data of each frequency characteristic quantity, In some which use for temporal feature quantity the time interval from which an auto correlation value becomes a peak, even if the time interval which a peak produces about each frequency characteristic quantity has a gap of some, there is an advantage that a value good as temporal feature quantity can be calculated.

[0061]Like the invention of Claim 5, after calculating frequency characteristic quantity, Fast Fourier Transform is performed to the time series data of each frequency characteristic quantity, and it has the advantage of becoming easy to extract the generation cycle of the peak in each frequency characteristic quantity, by what uses for temporal feature quantity the reciprocal of the frequency from which the maximum is obtained. Like the invention of Claim 6, after calculating frequency characteristic quantity, the cepstrum operation which performs Fast Fourier Transform twice to the time series data of each frequency characteristic quantity is performed, In what uses for temporal feature quantity the KEFURENSHI value from which the maximum is obtained, even when attenuation of a peak is quick, it has the advantage that the generation cycle of a peak can be extracted easily.

[0062]Like the invention of Claim 7, temporal feature quantity is calculated about two or more frequency characteristic quantity, respectively, and by what compares each class of frequency characteristic quantity–temporal feature quantity with criterion data, even when two or more abnormality causes exist, it has the advantage that an abnormality cause can be specified. Like the invention of Claim 8, the revolving speed of a rotating equipment is detected, and by what amends temporal feature quantity according to revolving speed, even when changing the revolving speed of a rotating equipment, it becomes possible to specify an abnormality cause.

[0063]The invention of Claim 9 detects vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment thru/or a data point like a sound, While asking for the temporal change of the spectrum of this data point and asking for the frequency which produces a peak from the temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, It asks for the time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, The group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity calculated from the data point at the time of rotation of a rotating equipment, By giving the neural network who made it learn beforehand so that the group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity at the time of the abnormalities of a rotating equipment and an abnormality cause exception may be matched, Since the existence and the abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment are specified and the neural network is used for the classification of an abnormality cause, there is an

advantage that the classification of an abnormality cause is attained only by making it learn when abnormalities occur. That is, setting out of criterion data becomes unnecessary.

[0064]The reference value which carried out weighting for every frequency characteristic quantity is set up like the invention of Claim 10, respectively, In what is used for the temporal feature quantity for every frequency characteristic quantity, the time interval at the time of the time series data for every frequency characteristic quantity exceeding the above-mentioned reference value, respectively. Rather than the case where a reference value is set up uniformly, the frequency characteristic quantity and temporal feature quantity which suited the conditions of the rotating equipment can be obtained, and the discriminating precision of an abnormality cause improves.

[0065]Like the invention of Claim 11, power is transmitted from a driving source via a belt to a rotating equipment, and the driving source can control transfer of the vibration to a rotating equipment from a driving source in what is made vibration-proof, and has the advantage that the noise in a data point decreases. In what keeps constant the tension of the belt [like the invention of Claim 12, it transmits power from a driving source via a belt to a rotating equipment and the rotating equipment is driving] of a between, the oscillating measurement condition of a rotating equipment becomes fixed, and leads to improvement in diagnostic accuracy.

[0066]By finding the wheel base of a driving source when the tension of a belt is made into constant value, and a rotating equipment like the invention of Claim 13, by some which calculate the stretch amount of a belt, the stretch amount of a belt can be managed and there is an advantage that the exchange time of a belt can be known. Power is transmitted from a driving source via a belt like the invention of Claim 14 to a rotating equipment, In what asks for the temporal change of the spectrum of a data point after removing the frequency component of the vibrational frequency of a belt from the above-mentioned data point, the noise by vibration of a belt can be removed and abnormality diagnosis can be performed.

[0067]By what computes the vibrational frequency of a belt based on the wheel base of a driving source and a rotating equipment, and the tension of a belt, like the invention of Claim 15. Since the vibrational frequency of a belt can be known even if the tension of a belt changes, the noise by vibration of a belt is easily removable. Like the invention of Claim 16, power is transmitted from a driving source via a belt to a rotating equipment, by what locates a belt in the field which intersects perpendicularly with the axis of a driving source and a rotating equipment, since a belt does not slide on shaft orientations, an unnecessary vibration does not occur but the accuracy of abnormality diagnosis improves.

[0068]The vibration sensor which detects a data point [like vibration generated at the time of rotation of a rotating equipment] whose invention of Claim 17 is, While asking for the temporal change of the spectrum of this data

point and asking for the frequency which produces a peak from the temporal change of a spectrum as frequency characteristic quantity, The feature quantity extracting part which asks for the time interval which produces a peak for every frequency characteristic quantity as temporal feature quantity, The group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity calculated from the data point at the time of rotation of a rotating equipment, In a thing provided with the abnormality–diagnosis part which specifies the existence and the abnormality cause of abnormalities of a rotating equipment by comparing the group of the frequency characteristic quantity–temporal feature quantity at the time of the abnormalities of a rotating equipment with the criterion data beforehand registered according to the abnormality cause. Since an abnormality cause is specified combining frequency characteristic quantity and temporal feature quantity, there is an advantage that the discriminating precision of an abnormality cause becomes high as compared with what specifies an abnormality cause only using frequency like before.

[0069]In what is provided with the belt which transmits power from a driving source to a rotating equipment, and the vibration buffer material which supports a driving source so that vibration of a driving source may not be transmitted to a rotating equipment like the invention of Claim 18. Since the vibration from a driving source is hardly transmitted to a rotating equipment, a vibration sensor does not detect an unnecessary vibration component and the accuracy of abnormality diagnosis improves.

[0070]It has a sensor of the couple which detects vibration of the both sides which sandwiched vibration buffer material like the invention of Claim 19, Degradation of vibration buffer material is manageable by asking for the transfer function of vibration buffer material based on the output of both sensors, and managing the transfer function of vibration buffer material in a thing provided with a means by which the change with time of a transfer function detects degradation of vibration buffer material.

[0071]In a thing provided with the linear guide which makes a driving source movable to a rotating equipment, and regulates the moving range of a driving source like the invention of Claim 20 in the field containing a belt. While the move direction of a driving source is regulated and being able to prevent generating of an unnecessary vibration component, it becomes possible to adjust the tension of a belt suitably. Like the invention of Claim 21, a driving source is made movable to a rotating equipment, and it becomes possible to move a driving source more smoothly as compared with a linear guide by a thing provided with the air bearing which regulates the moving range of a driving source in the field containing a belt.

[0072]In what is provided with the support means which supports a driving source movable to a rotating equipment, and the transportation device to which a driving source is moved like the invention of Claim 22, a driving source can be easily moved by a transportation device. In what is provided with the distance sensors which detect the distance of a driving source and a

rotating equipment like the invention of Claim 23. It becomes possible to calculate the stretch amount of a belt by detection of distance, or to search for the tension of a belt, and there is an advantage that degradation of a belt can be detected as a result and the rule of thumb of the exchange time of a belt can be given.

[0073]The excitation means which excites a rotating equipment at the time of un-operating of a driving source is established like the invention of Claim 24, An abnormality-diagnosis part in what judges the existence of the abnormalities of the mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor based on the data point detected with a vibration sensor when a rotating equipment is excited by an excitation means. Check of the mounting state of the vibration sensor to a rotating equipment, etc. is attained, and the good abnormality diagnosis of reproducibility becomes possible.

[0074]It is easy to control vibration added to a rotating equipment by what used the excitation means as the voice coil motor correctly like Claim 25, and becomes easy to judge the existence of the abnormalities of a rotating equipment or a vibration sensor. Like the invention of Claim 26, by what used the excitation means as the actuator using the piezo-electric effect, frequency of vibration applied to a rotating equipment can be made high, a large frequency domain can be covered, and the existence of the abnormalities of a rotating equipment and a vibration sensor can be checked.

[0075]Like the invention of Claim 27, by that the excitation means is both [vibration sensor / that] used, though an excitation means is used, it has the advantage that a component can be lessened. In some which made the excitation means the hammer which gives impulse force to a rotating equipment like the invention of Claim 28, there is an advantage that composition becomes easy as an excitation means as compared with a voice coil motor or an actuator.

[0076]In the abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28 like the invention of Claim 29, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source, based on the output of a vibration sensor, the gain of input and output is searched for in an abnormality-diagnosis part, In what checks the existence of the abnormalities of the mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor by comparing this gain with the normal range set up beforehand. Since the existence of the abnormalities of the mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor by comparison with a gain and a threshold is judged, there is an advantage that it can be diagnosed easily whether there are any abnormalities in the mounting state of a rotating equipment and a vibration sensor, etc.

[0077]In the abnormality diagnosis device of Claim 24 thru/or the rotating equipment according to claim 28 like the invention of Claim 30, While exciting a rotating equipment by an excitation means before operating a driving source,

based on the output of a vibration sensor, the gain of input and output on two or more frequency is searched for in an abnormality-diagnosis part, A correlation value with the data for check beforehand set to the gain searched for is calculated, In what checks the existence of the abnormalities of the mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor by comparing the calculated correlation value with the threshold set up beforehand. The correlation value of the gain and the data for check for which it asked on two or more frequency is calculated, and since the existence of the abnormalities of the mechanical system which contains a rotating equipment and a vibration sensor based on a correlation value is judged, it is effective in the ability to judge the existence of abnormalities more correctly as compared with the composition of Claim 29.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Embodiment 1 is shown, (a) is a block diagram and (b) is an explanatory view of operation.

[Drawing 2] It is a top view showing a measuring device same as the above.

[Drawing 3] The side view at the time of a measuring device same as the above being shown, and (a) equipping with a belt and (b) are the side views of a measurement state.

[Drawing 4] It is a sectional view of the electromagnetic clutch used for the same as the above.

[Drawing 5] It is a partial fracture side view at the time of using an air bearing in the same as the above.

[Drawing 6] It is a side view showing the example which measures the transfer function of vibration buffer material in the same as the above.

[Drawing 7] It is a figure showing change of the transfer function of vibration buffer material same as the above.

[Drawing 8] It is a side view showing the example using an air cylinder in the same as the above.

[Drawing 9] It is a top view showing the example using a voice coil motor in the same as the above.

[Drawing 10] It is a side view showing the example using distance sensors in the same as the above.

[Drawing 11] It is a figure showing an example of the criterion data used for the same as the above.

[Drawing 12] It is a figure showing the example of the temporal change of a spectrum same as the above.

[Drawing 13] It is a figure showing the example of the temporal change of a spectrum same as the above.

[Drawing 14] It is a figure showing the example of the temporal change of a spectrum same as the above.

[Drawing 15] It is a key map of wavelet transform used for the same as the above.

[Drawing 16] It is a figure showing the example of the temporal change of the spectrum in Embodiment 2.

[Drawing 17] It is a figure showing the example using an autocorrelation function in the same as the above.

[Drawing 18] It is a figure showing the example which applied Fast Fourier Transform in the same as the above.

[Drawing 19] It is a figure showing the example of a problem at the time of applying Fast Fourier Transform in the same as the above.

[Drawing 20] It is a figure showing the example which performed the cepstrum operation in the same as the above.

[Drawing 21] It is a figure showing the example of the temporal change of the

spectrum in Embodiment 3.

[Drawing 22]It is a figure showing the example of criterion data same as the above.

[Drawing 23]It is a block diagram showing Embodiment 4.

[Drawing 24]Embodiment 5 is shown, (a) is a top view and (b) is a side view.

[Drawing 25]It is an explanatory view of operation same as the above.

[Drawing 26]It is a top view showing other examples of composition same as the above.

[Drawing 27]It is a top view showing the example of composition of further others same as the above.

[Drawing 28]It is an explanatory view of operation same as the above.

[Description of Notations]

1 Motor

2 Electromagnetic clutch

3 Vibration sensor

4 Feature quantity extracting part

5 Abnormality-diagnosis part

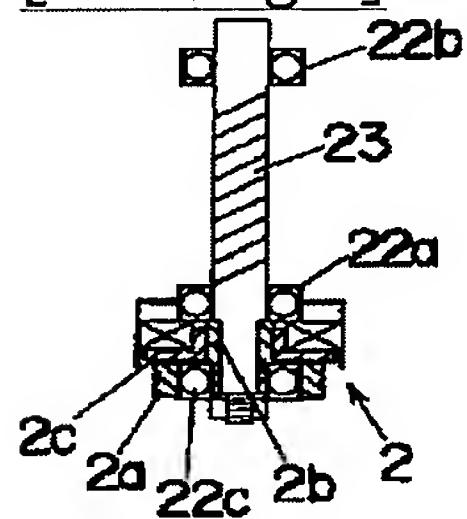
31 Voice coil motor

35 Actuator

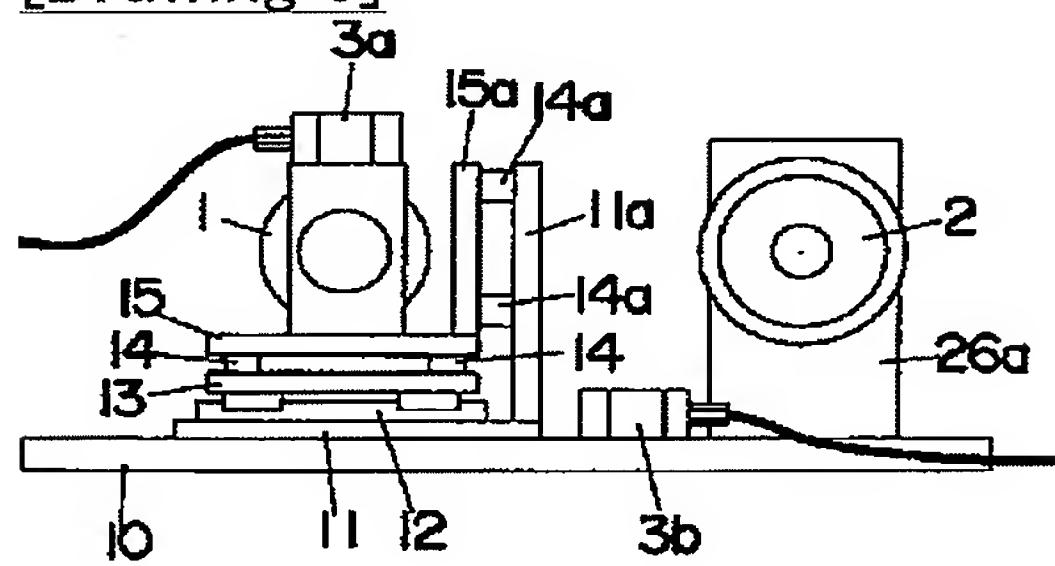
36 Hammer

DRAWINGS

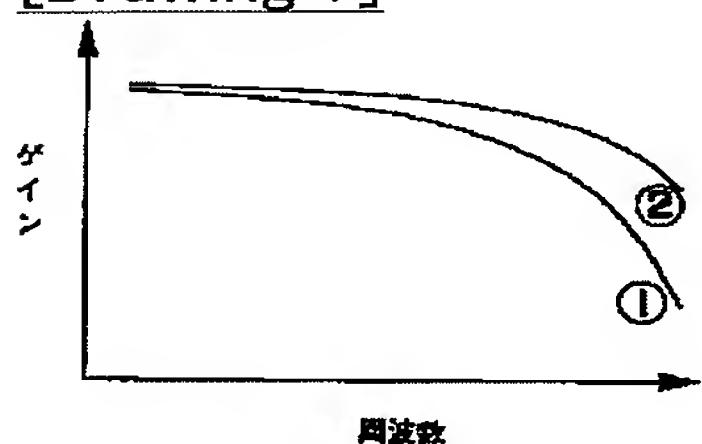
[Drawing 4]



[Drawing 6]

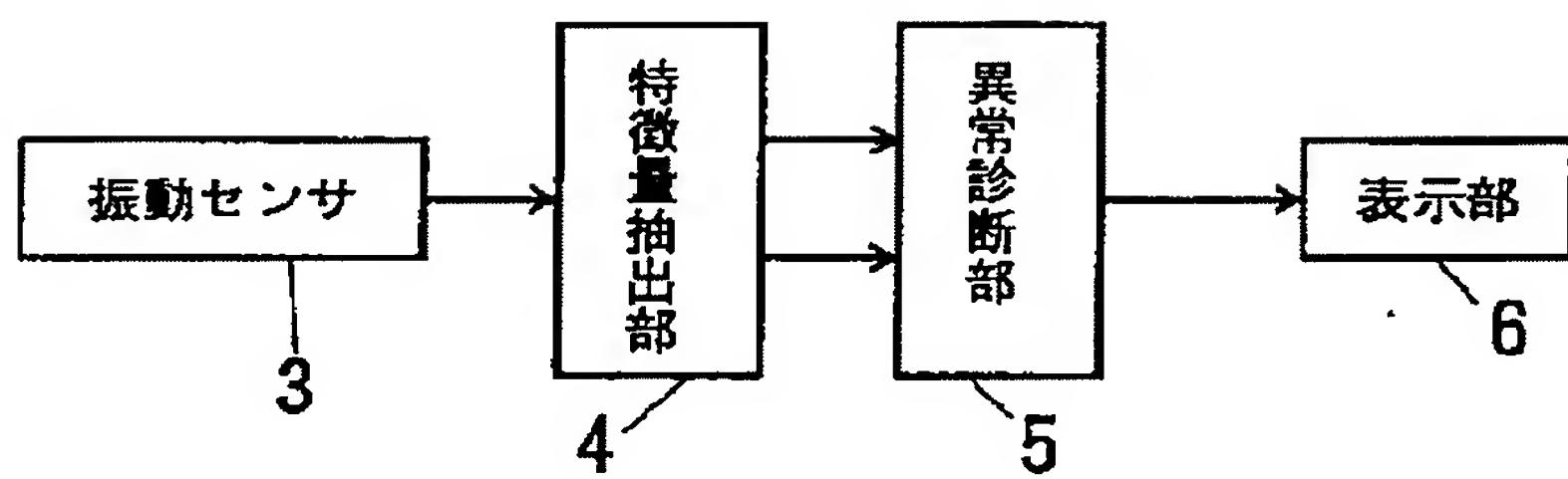


[Drawing 7]

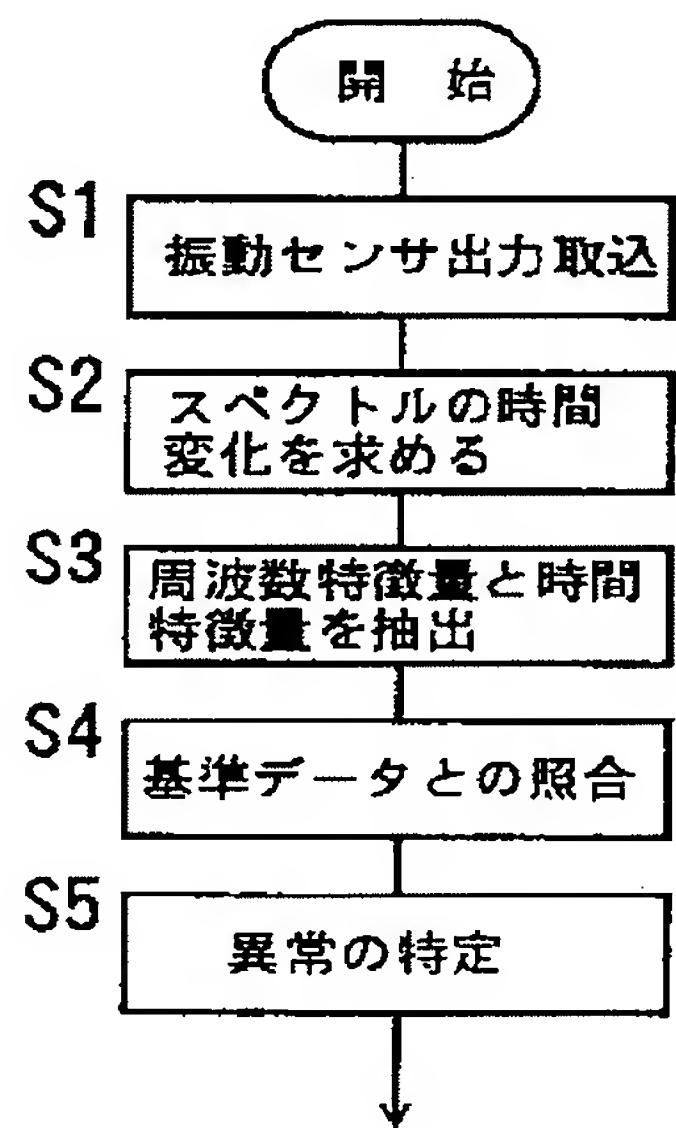


[Drawing 1]

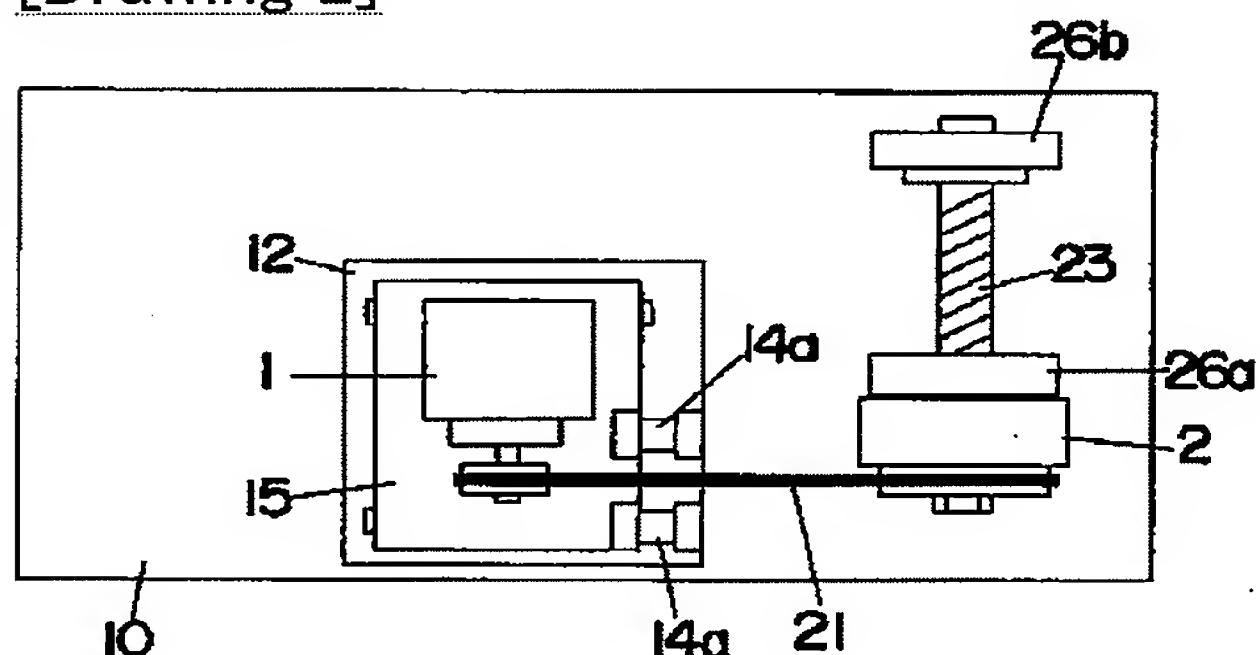
(a)



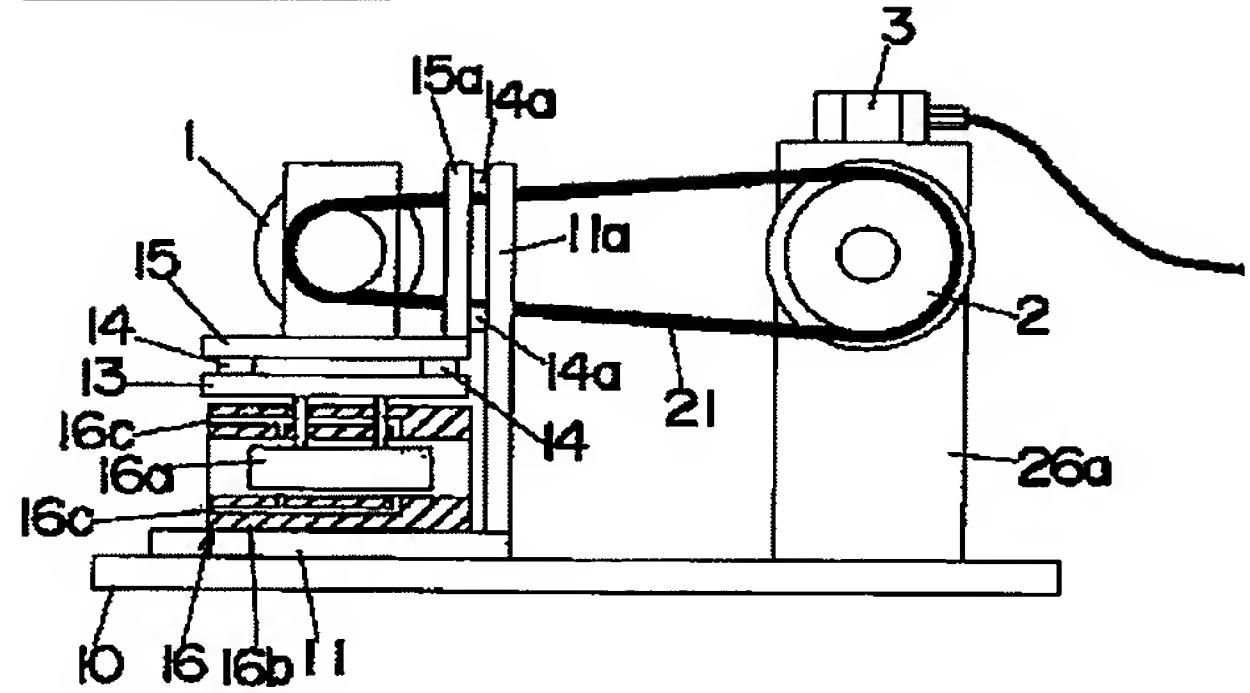
(b)



[Drawing 2]



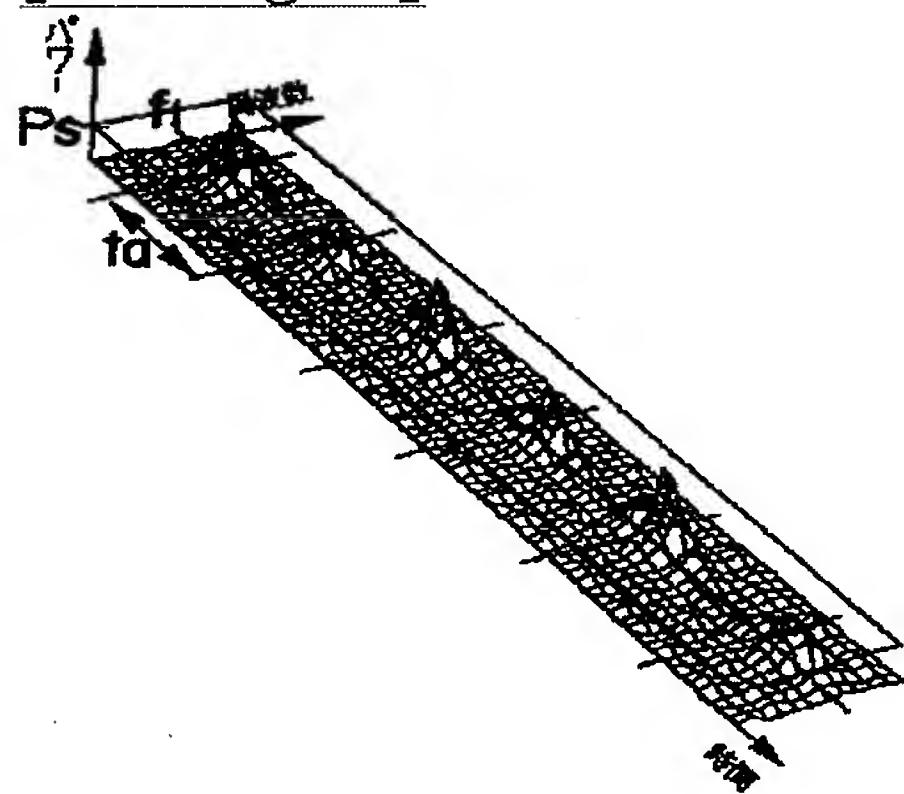
[Drawing 5]



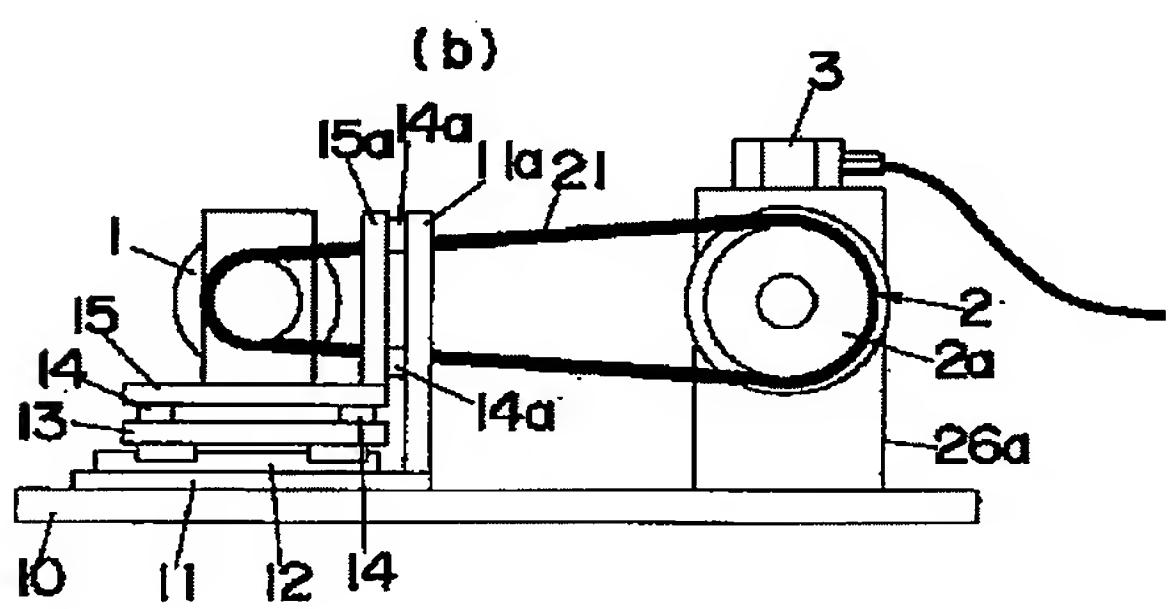
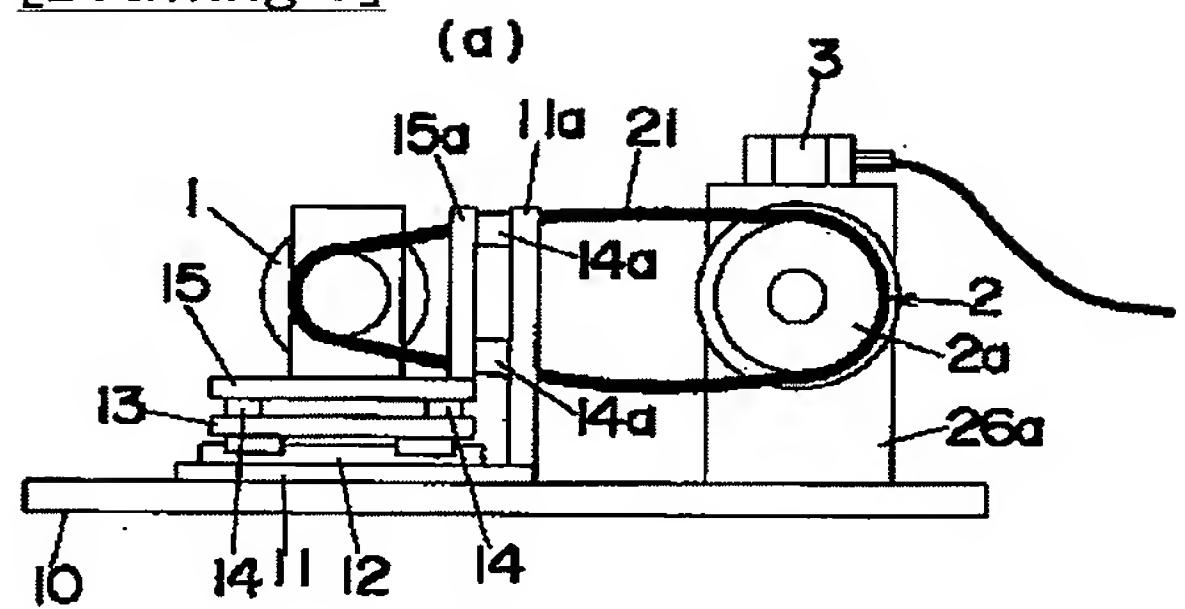
[Drawing 11]

		周波数特微量					
		f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6
時 間 特 徴 量	t = R 1						
	t b	R 2	R 3				
	t c						
	t d						
	t e						
	t f						

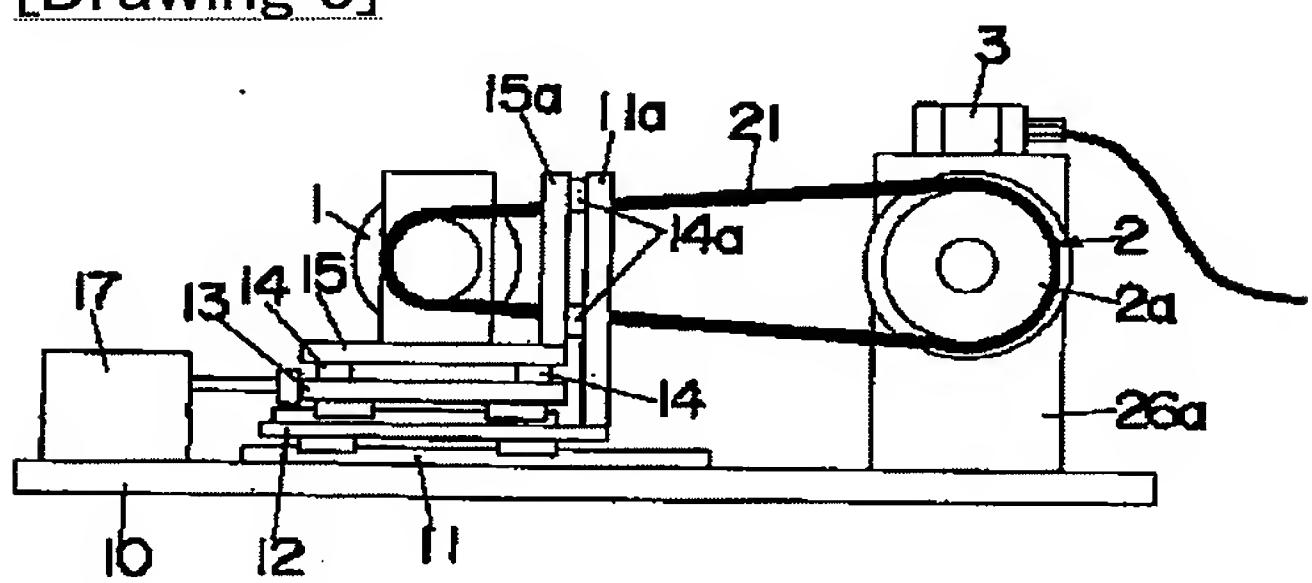
[Drawing 12]



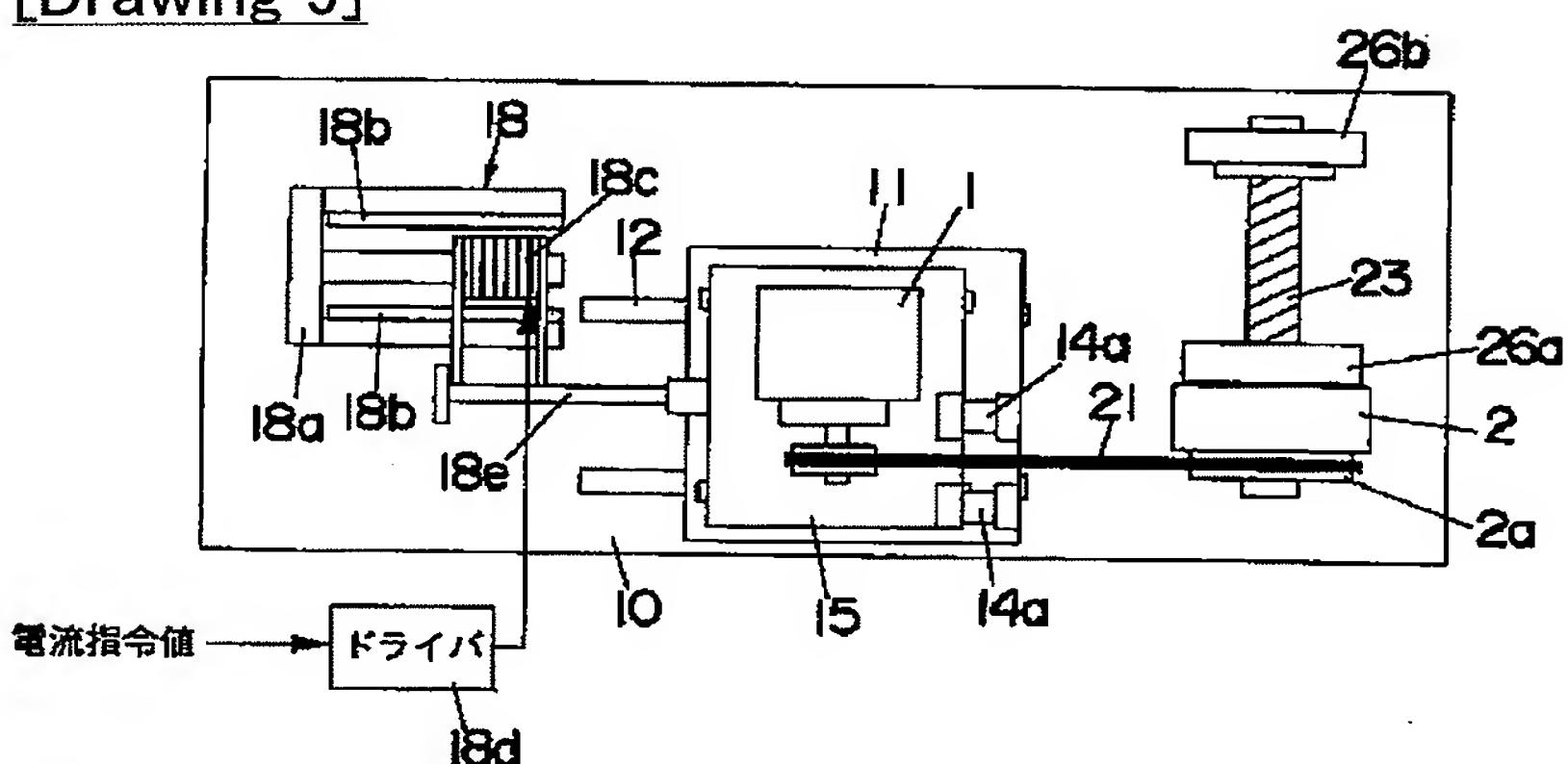
[Drawing 3]



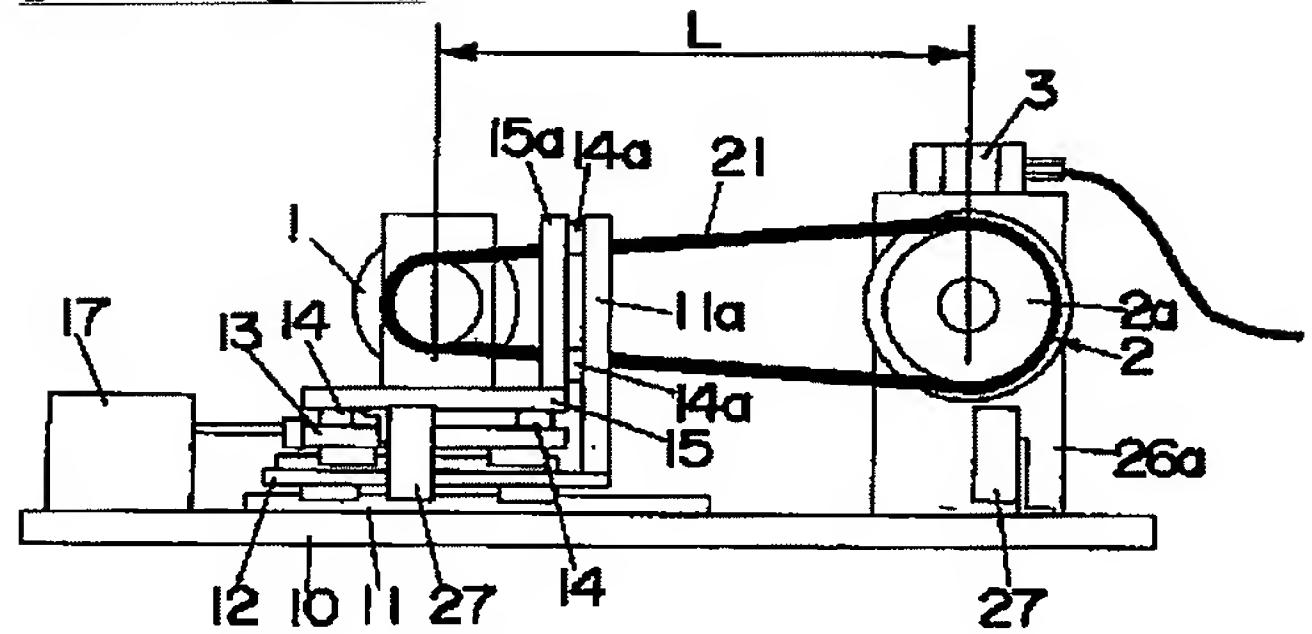
[Drawing 8]



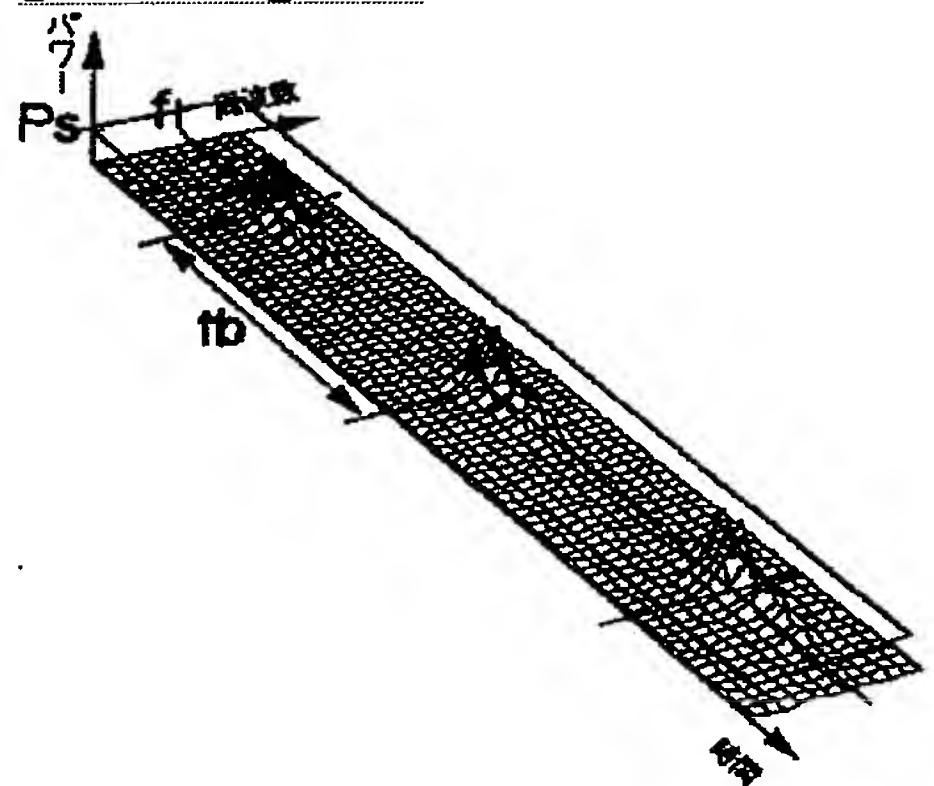
[Drawing 9]



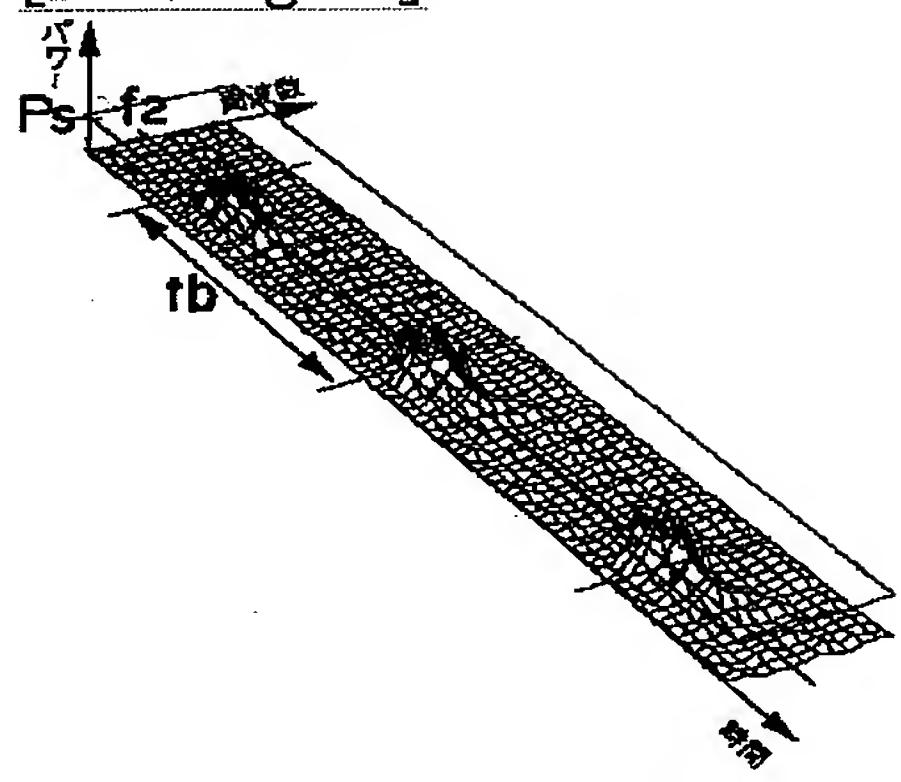
[Drawing 10]



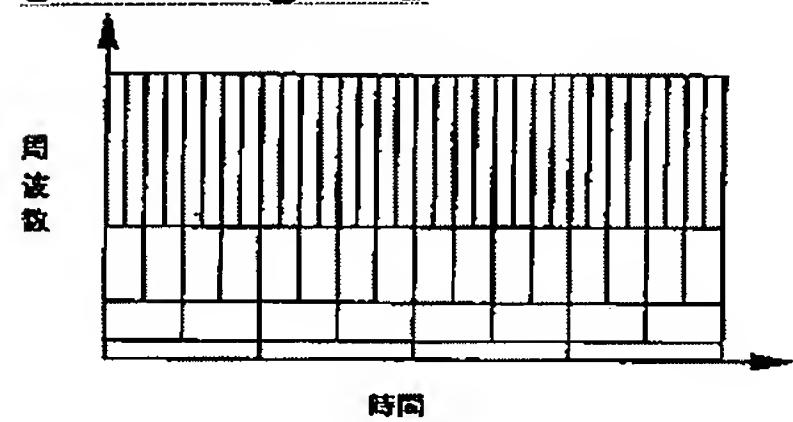
[Drawing 13]



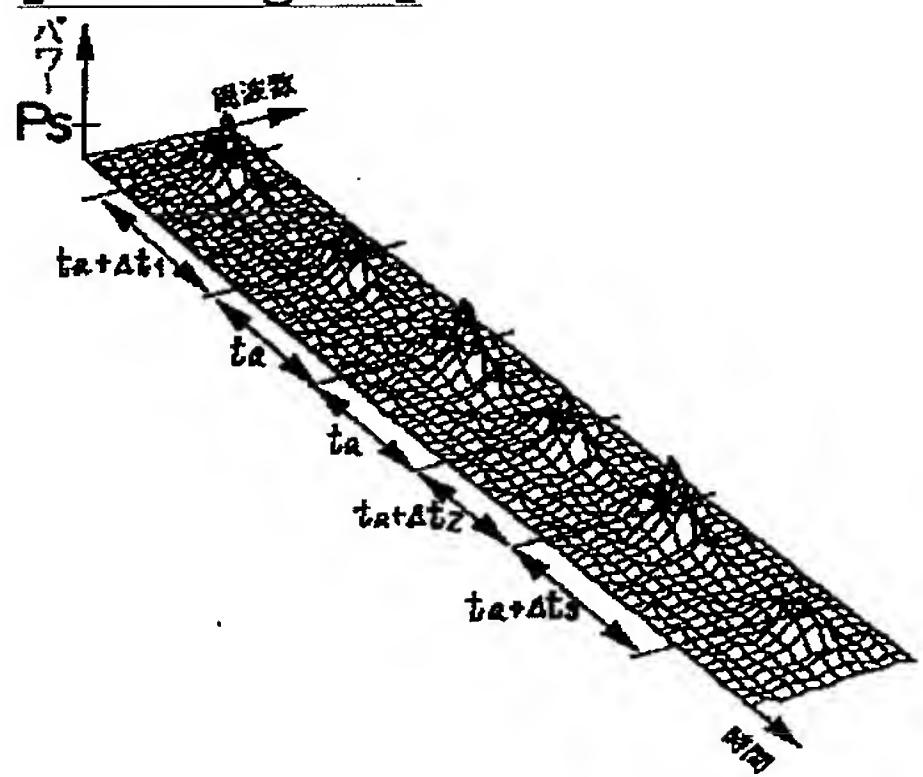
[Drawing 14]



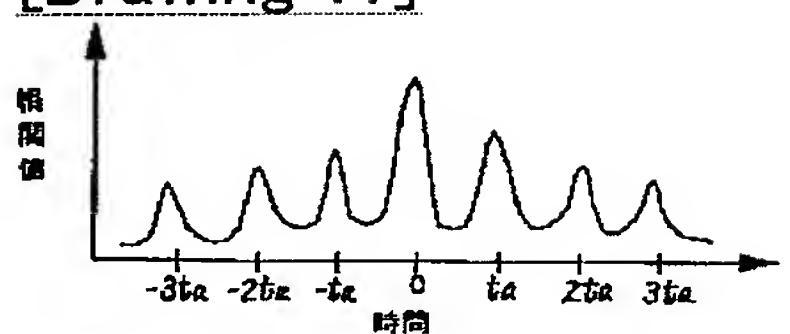
[Drawing 15]



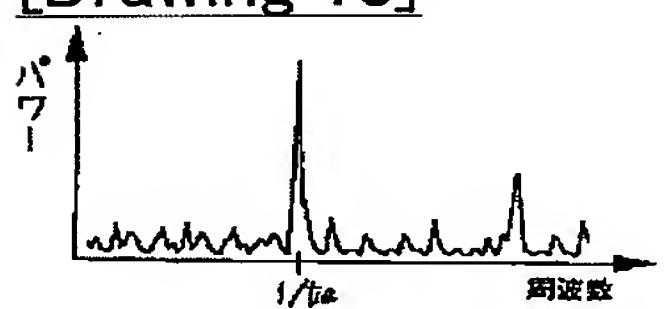
[Drawing 16]



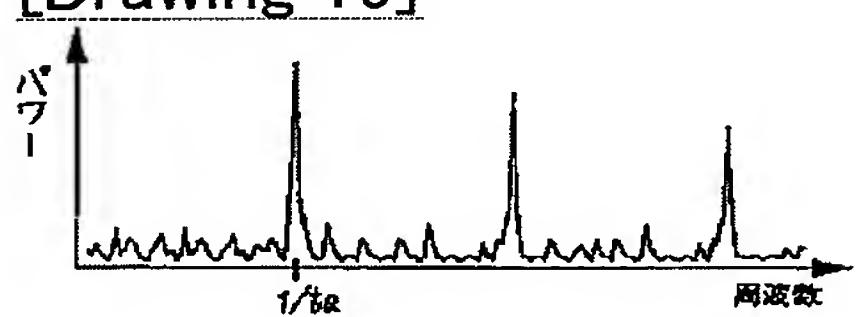
[Drawing 17]



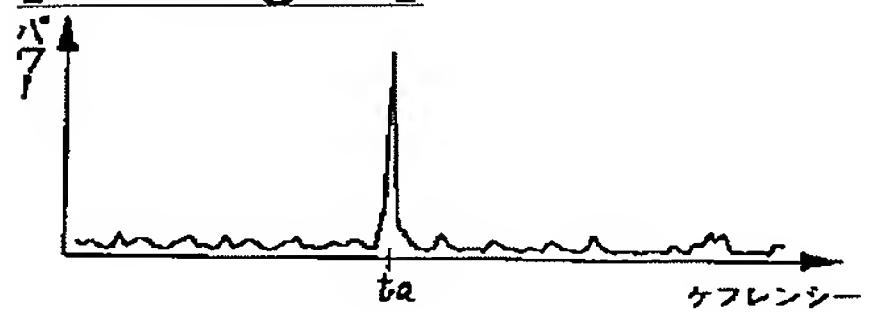
[Drawing 18]



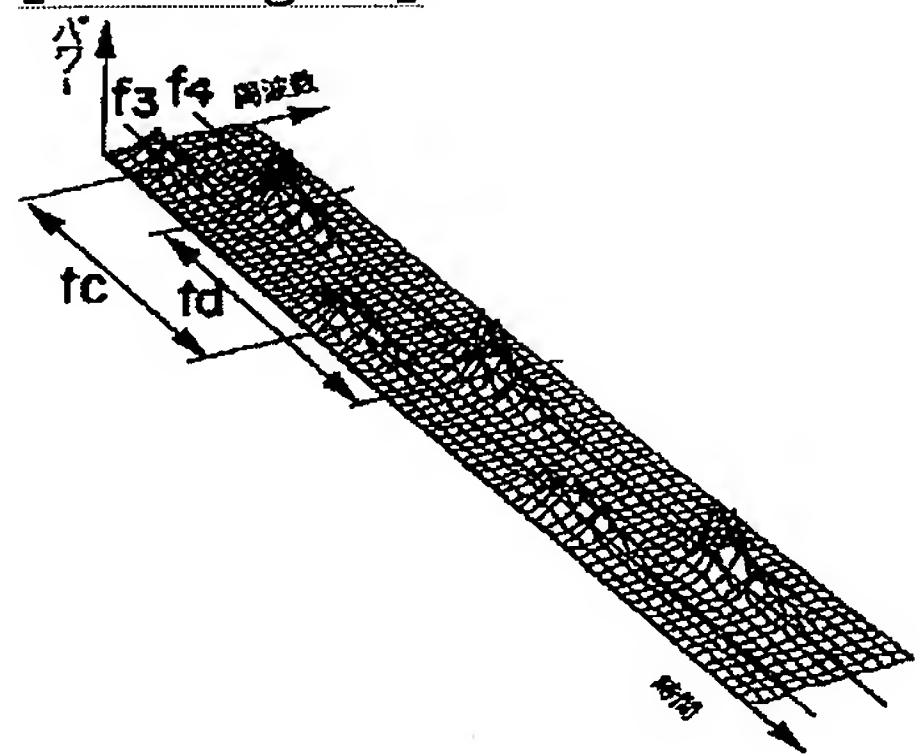
[Drawing 19]



[Drawing 20]



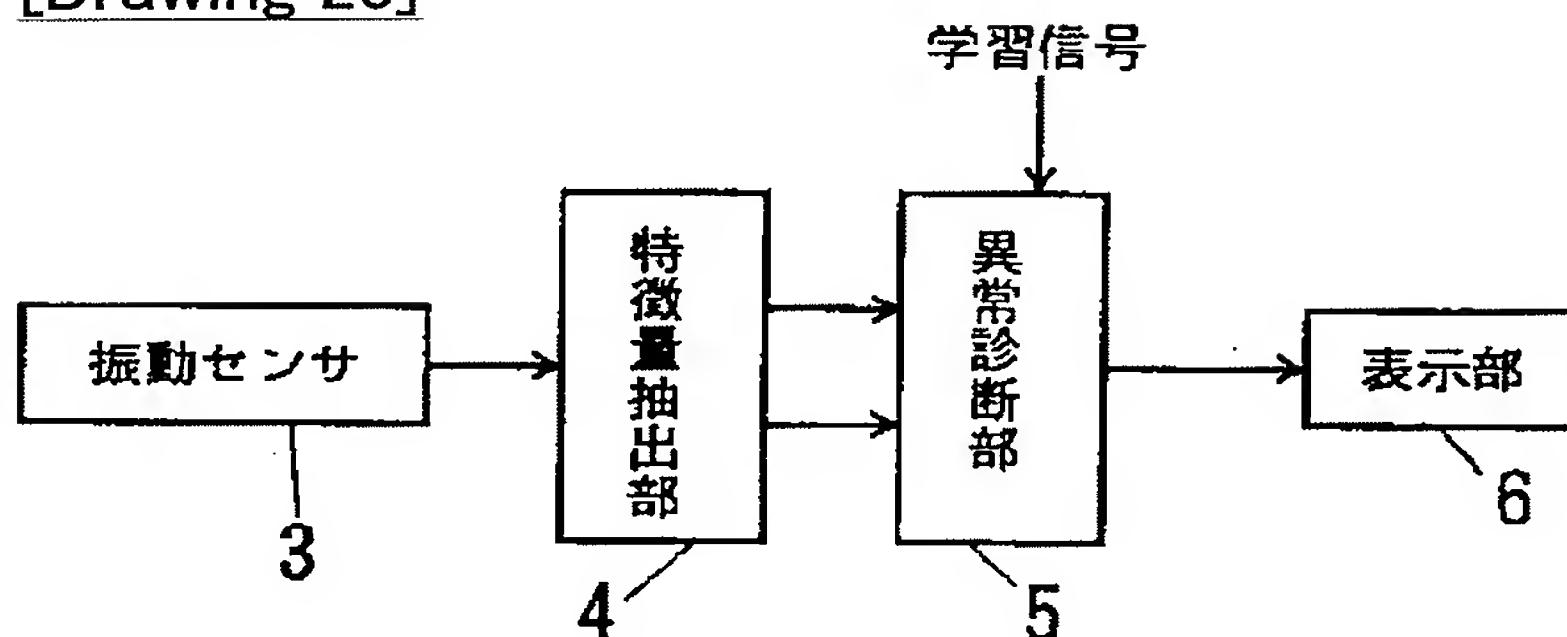
[Drawing 21]



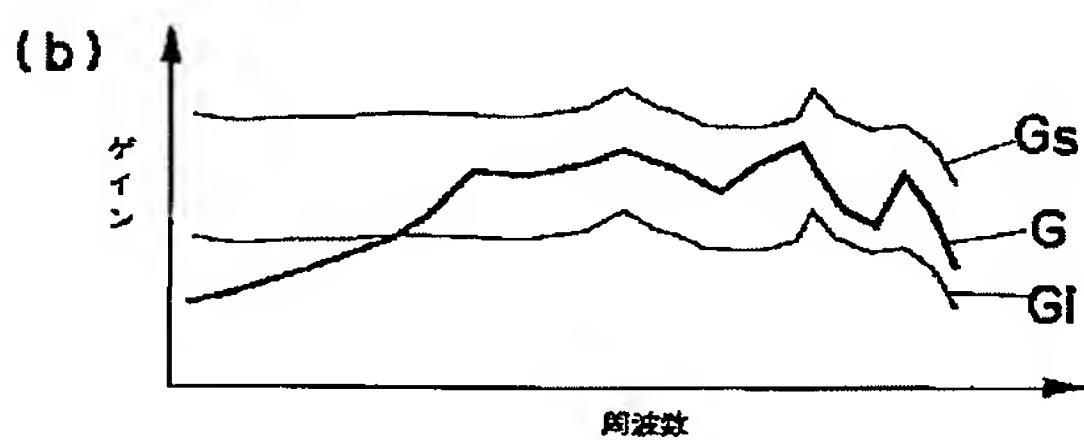
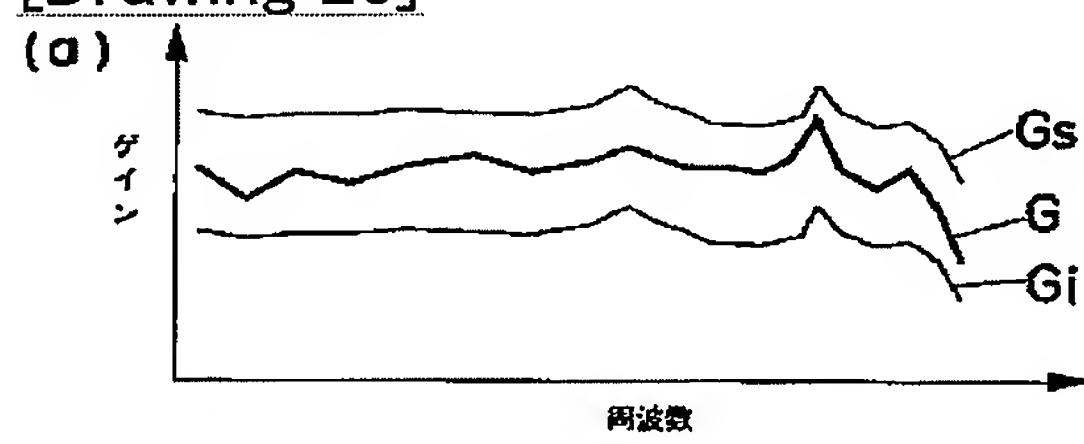
[Drawing 22]

		f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6
時間特徴量	t a						
	t b						
	t c		→	R 3			
	t d			→	R 4		
	t e						
	t f						

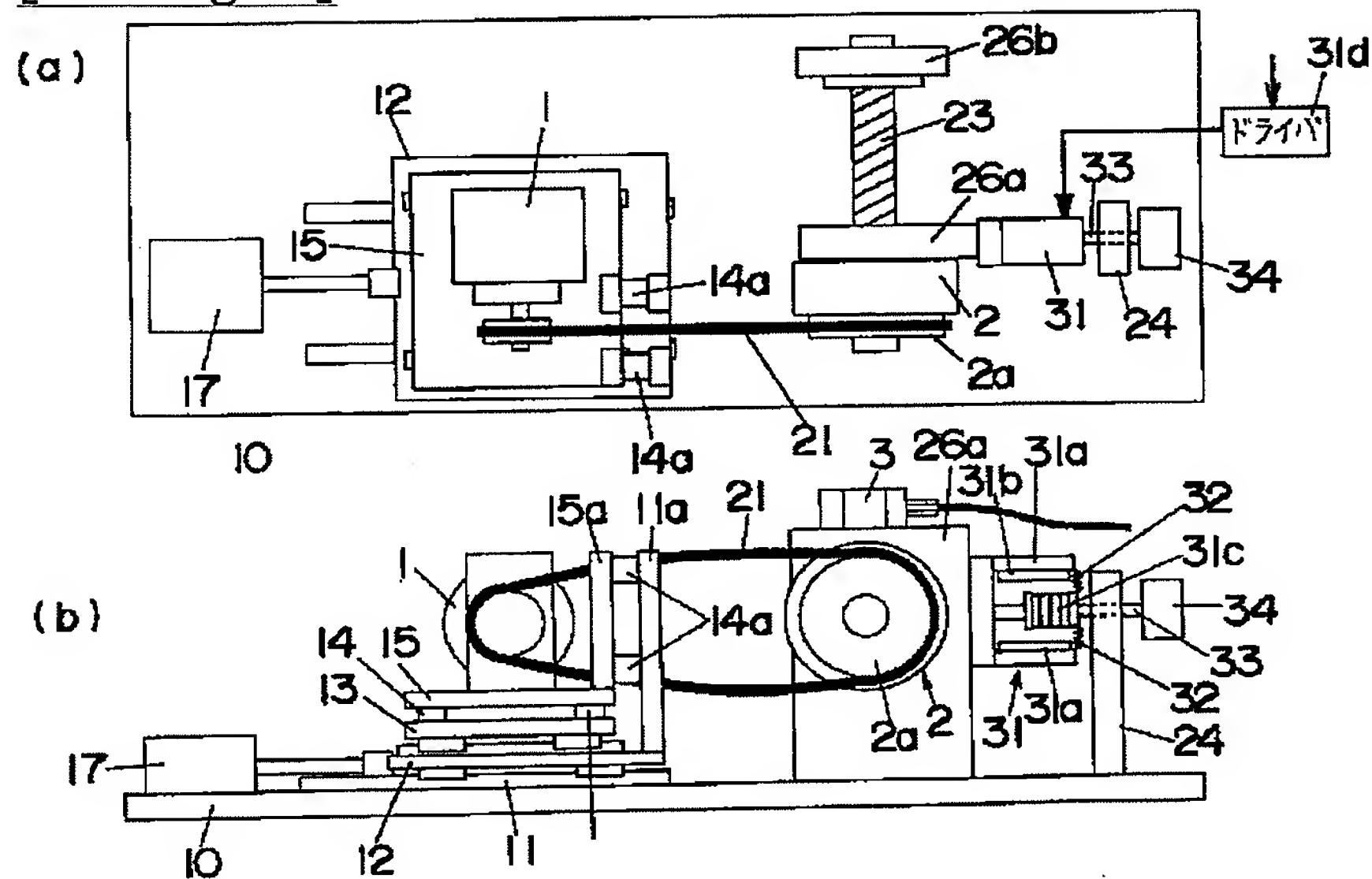
[Drawing 23]



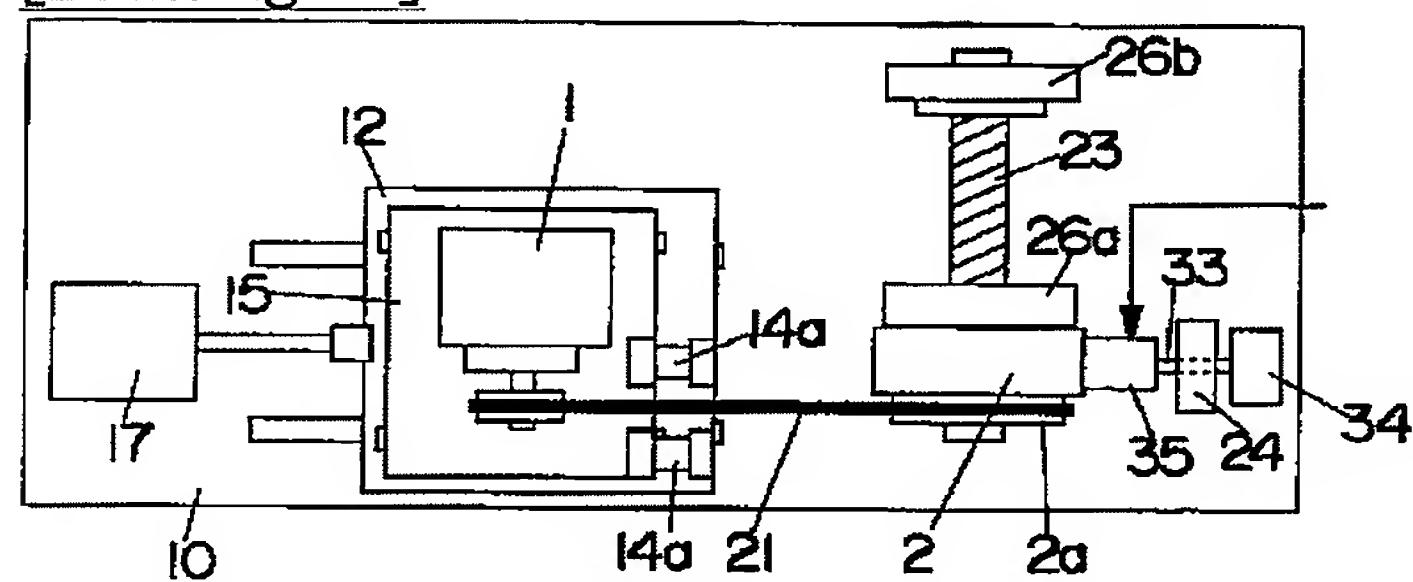
[Drawing 25]



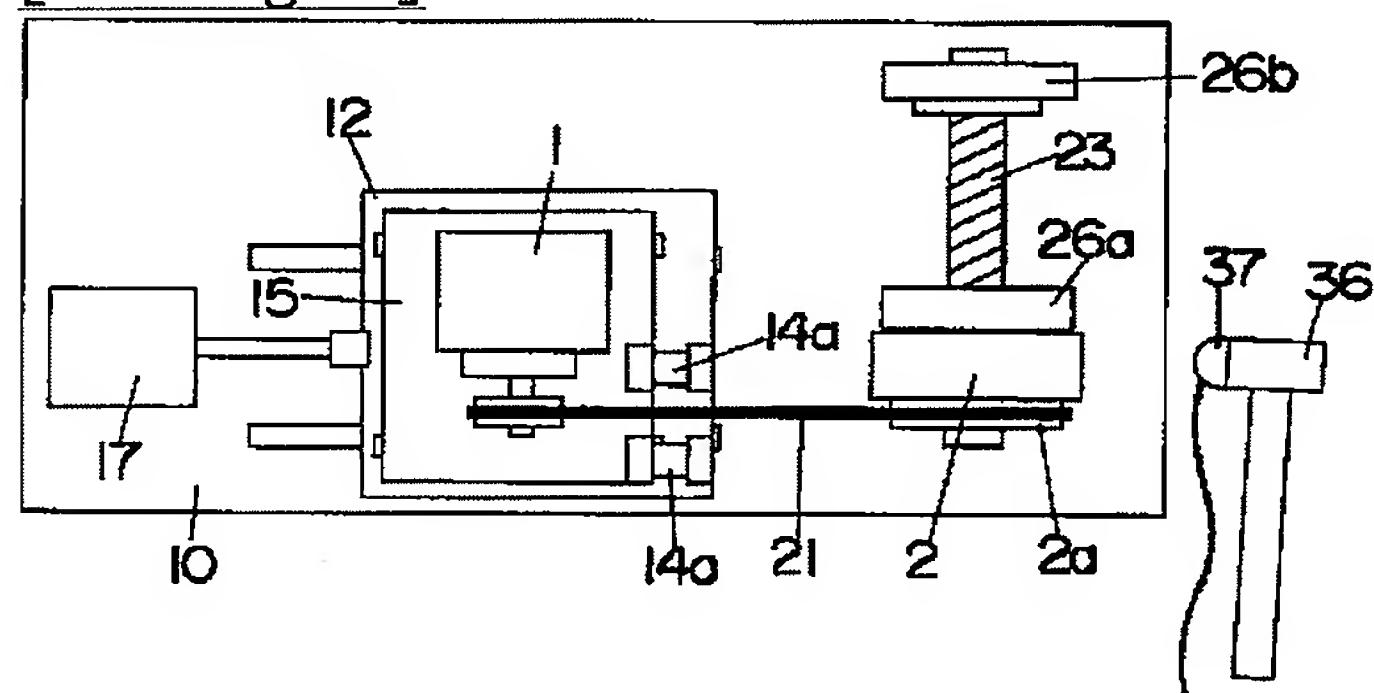
[Drawing 24]



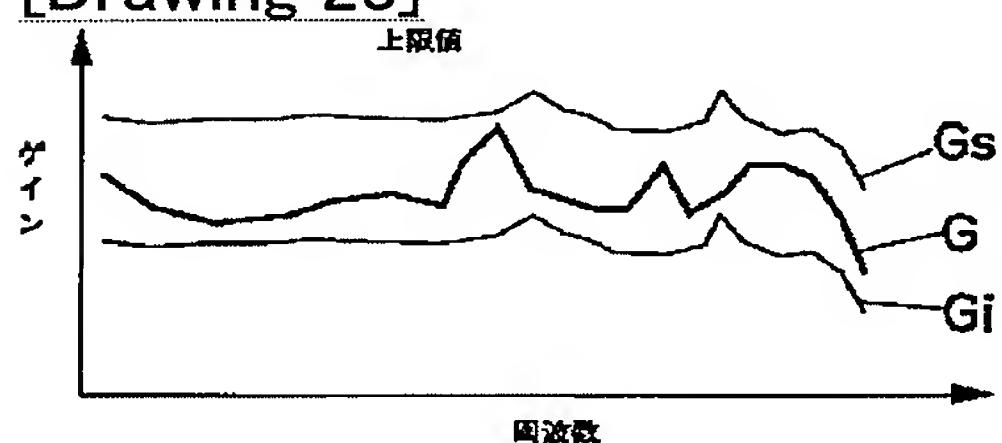
[Drawing 26]



[Drawing 27]



[Drawing 28]



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-274558

(43)公開日 平成10年(1998)10月13日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 1 H 17/00

G 0 1 M 19/00

識別記号

F I

G 0 1 H 17/00

A

G 0 1 M 19/00

A

審査請求 未請求 請求項の数30 O.L (全 16 頁)

(21)出願番号 特願平9-259627

(22)出願日 平成9年(1997)9月25日

(31)優先権主張番号 特願平9-14395

(32)優先日 平9(1997)1月28日

(33)優先権主張国 日本 (JP)

(71)出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72)発明者 山中 浩

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者 井上 雅喜

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(72)発明者 牧野 滋

大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内

(74)代理人 弁理士 西川 恵清 (外1名)

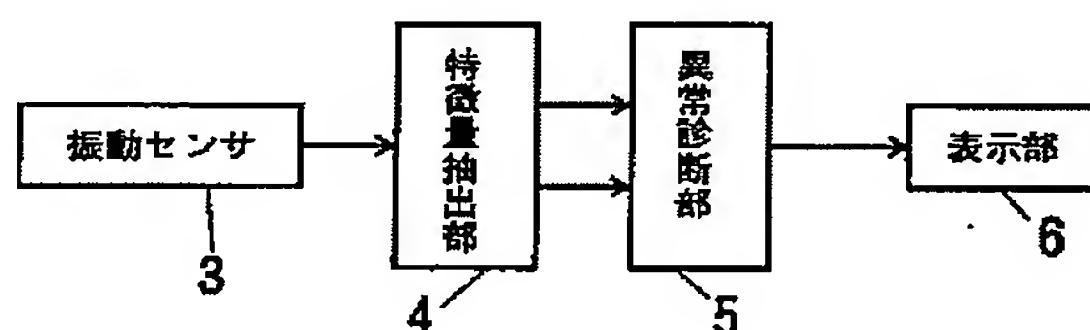
(54)【発明の名称】回転機器の異常診断方法およびその装置

(57)【要約】

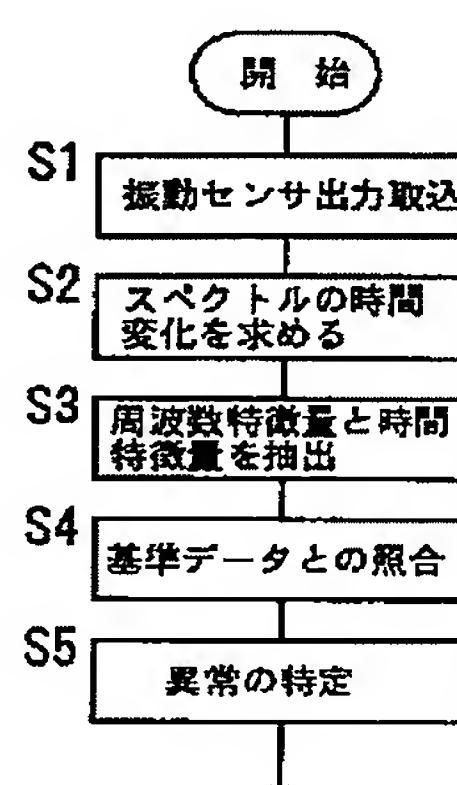
【課題】波形データから周波数特徴量と時間特徴量とを抽出することにより、回転機器の異常診断を精度よく行なう。

【解決手段】回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出する (S 1)。この波形データのスペクトルの時間変化を求める (S 2)。スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める (S 3)。回転機器の異常時における周波数特徴量-時間特徴量の組を異常原因別に基準データとしてあらかじめ登録しておき、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データに照合する (S 4)。照合結果から異常の有無および異常の種類が特定される (S 5)。

(a)



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項2】 上記波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求ることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項3】 上記波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求ることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項4】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項5】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項6】 周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を2回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケフレンシ一値を時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1ないし請求項3記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項7】 複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量一時間特徴量の各組を基準データに照合することを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項8】 回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正することを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項9】 回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組と異常原

因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項10】 各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれぞれ上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いることを特徴とする請求項1または請求項9記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項11】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されていることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項12】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つことを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項13】 ベルトのテンションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求ることによりベルトの伸び量を求ることを特徴とする請求項12記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項14】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求ることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項15】 駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出することを特徴とする請求項14記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項16】 駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させることを特徴とする請求項1記載の回転機器の異常診断方法。

【請求項17】 回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えることを特徴とする回転機器の異常診断装置。

【請求項18】 駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えることを特徴とする請求項17記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項19】 振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時的変化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項20】 駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項21】 駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項22】 駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えることを特徴とする請求項18記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項23】 駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えることを特徴とする請求項18ないし請求項22記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項24】 駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部は、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断することを特徴とする請求項17記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項25】 加振手段はボイスコイルモータであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項26】 加振手段は圧電効果を用いたアクチュエータであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項27】 加振手段は振動センサと兼用されていることを特徴とする請求項25または請求項26記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項28】 加振手段は回転機器に衝撃力を与えるハンマであることを特徴とする請求項24記載の回転機器の異常診断装置。

【請求項29】 請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【請求項30】 請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出

10

20

30

40

50

力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検することを特徴とする回転機器の異常診断方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、回転機器の異常診断方法およびその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に電動機や内燃機関を回転力の駆動源として回転駆動される各種の回転機器が提供されている。この種の回転機器に何らかの異常が生じたときは、常時とは異なる振動や音が発生することが知られており、このような状態で駆動を継続すると場合によっては回転機器が破損することもある。

【0003】 そこで、従来より、回転機器より発生する振動や音のような波形データに高速フーリエ変換（FFT）を施すことにより得られたスペクトルパターンと、あらかじめ設定された異常時のスペクトルパターンとを比較し、比較結果に基づいて回転機器の異常の有無を診断することが考えられている（特開昭62-93620号公報）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記公報に記載の技術は、スペクトルパターンのみを用いて異常を判定するものであるから、異種の異常についてスペクトルパターンが等しくなるような場合（たとえば、スペクトルパターンは等しくても発生時間間隔が異なるような異常）については、異常の種類を判別することができないものである。

【0005】 本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、波形データからより多くの情報を抽出することによって、異常の種別までも判断可能とした回転機器の異常診断方法およびその装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものである。

【0007】 請求項2の発明は、請求項1の発明において、波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより

波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項3の発明は、請求項1の発明において、波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項4の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いるものである。

【0008】請求項5の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いるものである。請求項6の発明は、請求項1ないし請求項3の発明において、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を2回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケフレンシー値を時間特徴量に用いるものである。

【0009】請求項7の発明は、請求項1の発明において、複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量一時間特徴量の各組を基準データに照合するものである。請求項8の発明は、請求項1の発明において、回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正するものである。

【0010】請求項9の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組と異常原因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものである。

【0011】請求項10の発明は、請求項1または請求項9の発明において、各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれぞれ上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いるものである。請求項11の発明は、請求項1の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されているものである。

【0012】請求項12の発明は、請求項1の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つものである。請求項13の発明は、請求項12の発明において、ベルトのテンションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求ることによりベルトの伸び量を求めるものである。

【0013】請求項14の発明は、請求項1の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求めるものである。請求項15の発明は、請求項14の発明において、駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出するものである。

【0014】請求項16の発明は、請求項1の発明において、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させるものである。請求項17の発明は、回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えるものである。

【0015】請求項18の発明は、請求項17の発明において、駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えるものである。請求項19の発明は、請求項18の発明において、振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時的变化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えるものである。

【0016】請求項20の発明は、請求項18の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えるものである。請求項21の発明は、請求項18の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えるものである。

【0017】請求項22の発明は、請求項18の発明において、駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えるものである。請求項23の発明は、請求項18ないし請求項22の発明において、駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えるものである。

【0018】請求項24の発明は、請求項17の発明において、駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部は、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無

7
を判断するものである。請求項25の発明は、請求項24の発明において、加振手段をボイスコイルモータとしたものである。

【0019】請求項26の発明は、請求項24の発明において、加振手段を圧電効果を用いたアクチュエータとしたものである。請求項27の発明は、請求項25または請求項26の発明において、加振手段が振動センサと兼用されているものである。請求項28の発明は、請求項24の発明において、加振手段を回転機器に衝撃力を与えるハンマとしたものである。

【0020】請求項29の発明は、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものである。

【0021】請求項30の発明は、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものである。

【0022】

【発明の実施の形態】

(実施形態1) 本実施形態において、異常診断の対象となる回転機器は図2に示すように、電磁クラッチ2であって、モータ1を駆動源としてベルト21を介して回転駆動されるようになっている。

【0023】さらに詳しく説明する。図3に示すように、床等の定位置に固定されるベース10には、ベース10上に固定されたモータベース11に取り付けたりニアガイド12を介してモータプレート13が一直線上でスライド自在となるように配置される。このモータプレート13に振動緩衝材14を介して載設された保持台15に駆動源としてのモータ1が固定される。モータプレート13のスライド方向はモータ1の出力軸に直交する面内であって水平方向に規制される。また、モータベース11と保持台15とには立ち上がり片11a, 15aが設けられ、両立ち上がり片11a, 15aの間にも振動緩衝材14aが介装される。

【0024】モータ1の回転力は出力軸に掛け回したベルト21を介して回転機器である電磁クラッチ2に伝達される。電磁クラッチ2は、図4に示すように、ベルト21が掛け回されたクラッチブーリ2aと、両端部が軸受22a, 22bで軸支された回転軸23とともに回転する第1および第2のボス2b, 2cと、軸受22aに

固定されたコイル25とを備える。第1のボス2bは回転軸23に固着されているが、第2のボス2cは第1のボス2bに対してスプラインにより結合され回転軸23の軸方向に移動可能となっている。クラッチブーリ2aは回転軸23に対して軸受23cを介して回転自在になっている。しかし、コイル25に励磁電流を流すと、第2のボス2cがクラッチブーリ2aに磁力で吸着され、クラッチブーリ2aからボス2bに回転力を伝達することができるものである。

10 【0025】軸受22a, 22bはそれぞれ軸受台26a, 26bに保持されており、軸受台26aには図3に示すように振動センサ3が配置される。振動センサ3は軸受台26aの振動を電気振動に変換するものであれば、どのようなものを用いてもよい。ところで、回転機器としての電磁クラッチ2の振動を振動センサ3で検出する際に、以下のような手順でモータ1と電磁クラッチ2とを結合する。まず、電磁クラッチ2を取り付けた後に、モータ1の出力軸とクラッチブーリ2aとにベルト21を掛け渡す。この段階では、図3(a)のように、モータプレート13を軸受台26a, 26bのほうに寄せておくことによってベルト21を緩めておき、その後、図3(b)のように、モータプレート13を軸受台26a, 26bから離すことによってベルト21に規定のテンションがかかるようにし、この位置でモータベース11とモータプレート13とを固定する。ここで、リニアガイド12を用いてモータプレート13を移動させるから、モータベース11に対してモータプレート13を滑らかに移動させることができ、振動緩衝材14に対して水平方向の力が作用せず、緩衝性能の低下を防止することができる。

30 【0026】次に、モータ1を回転させると電磁クラッチ2が回転するから、この状態での振動センサ3の出力に基づいて後述する振動解析を行ない、不良の有無を検出し、不良があればその原因を特定する。ベース10とモータ1との間には、振動緩衝材14, 14aが設けられるから、モータ1からベース10に伝達される振動を大幅に減衰させることができ、モータ1の振動が振動センサ3でノイズとして検出されるのを抑制し、回転機器としての電磁クラッチ2の振動をノイズと分離して検出することができる。振動解析により不良の有無およびその原因を特定した後には、モータ1を停止させてモータプレート13を上述の向きとは逆向きに移動させ、ベルト21を外し、電磁クラッチ2を取り外す。このような手順で電磁クラッチ2の不良の有無を検出することができ、かつその不良原因も特定することが可能になる。

40 【0027】リニアガイド12に代えて、図5に示すように、空気軸受16を用いてもよい。空気軸受16はモータベース11に固定されており、モータプレート13の下面側に固定されるスライダ16aを備えるとともに、スライダ16aは軸受筒16bの中に浮上可能に收

納され、軸受筒16bに設けた流路16cを通して導入される圧縮空気をスライダ16aに吹き付けることによって、スライダ16aを軸受筒16bに接触させることなく浮上させるようになっている。したがって、リニアガイド12よりもさらに滑らかにモータプレート13をモータベース11に対して移動させることができることが可能になる。

【0028】なお、振動緩衝材14、14aが経年的に劣化するとノイズが増加するから、振動緩衝材14、14aについても劣化の有無を検出しておく必要がある。そこで、図6に示すように、モータプレート13の適所とベースプレート10の適所とにそれぞれ振動センサ3a、3bを配置し、モータ1にベルト21を掛けない状態で回転させ、モータプレート13の振動とベースプレート10の振動とを検出する。このようにして振動を解析すれば、モータプレート13からベースプレート10への伝達関数を求めることができるから、伝達関数の経年変化を定期的に求めることによって、振動緩衝材14、14aの経年変化を点検することが可能になる。たとえば、正常時の伝達関数は図7の①、経年変化により劣化したときの伝達関数は図7の②のようになる。

【0029】ところで、図2に示した装置は、モータプレート13の移動を手操作により行なうものであるが、モータプレート13を移動させる駆動手段として図8に示すようなエアシリンダ17を設けることができる。エアシリンダ17はモータプレート13のスライド方向に伸縮しモータプレート13に結合されたロッド17aを有し、空気圧によってロッドの伸縮量が調節される。したがって、図2に示した構成と同様に、ベルト21を掛ける前にはモータプレート13を軸受台26a、26bのほうに寄せておき、ベルト21をかけた後にエアシリンダ17によってモータプレート13を移動させ、ベルト21に所定のテンションが得られるようすればよい。もちろん、ベルト21を外すときにはエアシリンダ17のロッド17aを突出方向に移動させてベルト21を緩める。

【0030】モータプレート13を移動させる駆動手段としては、図9に示すように、エアシリンダ17に代えてボイスコイルモータ18を用いることも可能である。ボイルコイルモータ18は、略E字形のヨーク18aの図中の上下両片の内側面に永久磁石18bを配置し、中央片を空芯のコイル18cに挿通したものであって、コイル18cに励磁電流を流すことによりコイル18cが中央片の長手方向に沿って移動するものである。コイル18cの位置は励磁電流に応じて決まるから、ドライバ18dに適宜の電流指令値を与えて励磁電流を制御すれば、コイル18cの位置を電流指令値のみで制御することができる。コイル18cはロッド18eを介してモータプレート13に結合され、上記電流指令値に応じてモータプレート13を移動させることができる。

【0031】ところで、モータ1と振動センサ3との間には振動緩衝材14、14aが存在しているから、モータ1の振動そのものは振動センサ3にはほとんど伝達されないが、ベルト21の振動は振動センサ3により検出されることになる。ベルト21の振動周波数は、検査対象としての電磁クラッチ2の振動解析を行なっている間にはほぼ一定とみなせるから、この振動周波数をあらかじめ測定しておき、この振動周波数を除去するようなフィルタを設けて振動センサ3の出力からベルト21の振動によるノイズを除去すれば、振動センサ3の出力から電磁クラッチ2によって生じる振動成分以外のノイズを除去することになり、電磁クラッチ2の振動解析の精度を高めることができる。

【0032】ベルト21の振動周波数 f_B (Hz) はベルト21のテンション T_B (N) と、モータ1の出力軸と電磁クラッチ2の回転軸23との軸間距離 L (m) と、ベルト21の寸法や材質により決まる特性値 a (kg/m) との関数であって、次式のように表される。

$$f_B = T_B / (4 \cdot L^2 \cdot a)$$

上式を用いてベルト21の振動周波数 f_B を求めるときに、特性値 a はほぼ一定とみなしてよく、テンション T_B はエアシリンダ17やボイスコイルモータ18の負荷の大きさ (エアシリンダ17では空気圧、ボイスコイルモータ18では電流値によって知ることができる) によって知ることができるから、軸間距離 L を知る手段を設けることによって上式を適用することが可能になる。そこで、図10に示すように、モータプレート13とベースプレート10の定位置との間の距離を計測するための距離センサ27を設けてある。距離センサ27はたとえば光学式のものを用い、両距離センサ27間の距離に基づいて軸間距離 L を求めるのである。

【0033】テンション T_B や軸間距離 L は調節可能であるから、ベルト21の伸び量の変化による振動周波数 f_B の変化に対応することができるようになる。たとえば、振動周波数 f_B を一定に保つように制御すれば、フィルタの通過帯域を変化させることなくノイズを除去することができる。また、ベルト21のテンションを同条件として距離センサ27により距離を測定すれば、ベルト21の長さの変化を知ることができる。そこで、ベルト21が劣化するとベルト21の伸び量が大きくなることに着目すれば、ベルト21の長さの変化によってベルト21の劣化状態を点検することができる。つまり、正常時ににおけるベルト21の長さを測定しておき、定期的にベルト21の長さを点検して伸び量が所定値 (たとえば、5%) に達したときに、ベルト21の交換を促すことが可能になる。

【0034】なお、ベルト21がモータ1の出力軸および回転軸23に直交する面内に含まれるように、回転軸23の長手方向における電磁クラッチ2の位置を調節しておくのはいうまでもない。これによって、モータ1の

出力軸やクラッチブーリ2aとベルト21との間で滑りが発生せず、不要な振動成分の発生を抑制することができる。

【0035】振動センサ3の出力に基づく振動解析は、以下のように行なう。すなわち、図1(a)のように、振動センサ3の出力から特徴量抽出部4において周波数特徴量と時間特徴量とを抽出し異常診断部5に入力する。異常診断部5は、周波数特徴量と時間特徴量と後述する基準データと照合することにより、異常の有無および異常の種類を求め、その結果を表示部6に表示する。

【0036】振動解析の基本的な手順は、図1(b)のようになる。まず、振動センサ3の出力を取り込む(S1)。次に、振動センサ3の出力は波形データであるから、この波形データのスペクトルの時間変化を求める(S2)。つまり、波形データの周波数と時間とパワーとの関係を求める。スペクトルの時間変化は、波形データに対して短時間フーリエ変換(STFT)あるいはウェーブレット変換という演算を施すことによって求められる。これらの演算については後述する。

【0037】上述のように振動センサ3の出力の周波数と時間とパワーとの関係が求まると、回転機器に異常が生じたときに発生する周波数と時間とパワーとの関係における特徴的な情報を特徴量として抽出する(S3)。特徴量としては、異常発生時にピークを持つ周波数(以下、周波数特徴量という)と、周波数特徴量ごとにパワーが基準値Psを超えるときの時間間隔(以下、時間特徴量という)とを用いる。このような周波数特徴量と時間特徴量とを組にすれば、回転機器の同種の異常に対しては周波数特徴量-時間特徴量の組がほぼ同じ値になり、異なる異常に対しては周波数特徴量-時間特徴量の組が異なる値を持つことになる。基準値Psは、適宜に設定することができるが、良品における波形データにおけるパワーの平均値μと標準偏差σとを用いて、

$$Ps = \mu + 3\sigma$$

$$Ps = \mu + 2\sigma$$

などと設定することができる。後者の基準値Psを用いると、周波数特徴量の検出確率が増大するから、より多くの情報を用いて多数の異常を識別することが可能になるが、情報量の増大によって処理時間が長くなるから、識別すべき異常の種類が少ない場合には前者の基準値Psを用いれば十分である。また、各周波数特徴量でピークの大きさが同じになるわけではないから、各周波数特徴量ごとに基準値Psを異なる値に設定するのが望ましい。つまり、周波数特徴量ごとに重み付けを行なうことには相当する。

【0038】そこで、回転機器の各種の異常について、周波数特徴量および時間特徴量をあらかじめ求め、各種*

$$X_s(t_0, w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) w(t - t_0, \Delta t) \exp(-j\omega t) dt$$

【0042】上述したような各種異常に対して振動セン

* 異常別に周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データとして登録しておき、回転機器の回転時に生じる波形データから求めた周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データに照合する(S4)。たとえば、図11に示すように、複数種類の周波数特徴量 f_1, f_2, \dots と、複数種類の時間特徴量 t_a, t_b, \dots との組み合わせに異常の種類を対応付けたテーブルを基準データとして作成しておき、回転機器の回転時に得られた波形データから抽出した周波数特徴量-時間特徴量の組をこのテーブルに照合するのである。図示例では周波数特徴量-時間特徴量の組が (f_1, t_a) のときに軸受の内部に傷がある不良 (R_1) 、 (f_1, t_b) のときに接触不良1 (R_2) 、 (f_2, t_b) のときに接触不良2 (R_3) であるものとしている。接触不良は軸受と回転軸との接触、電磁クラッチ2のクラッチブーリ2aとボス2cとの接触などに関する不良である。この例では、軸受の傷と接触不良1とは同じ周波数特徴量 f_1 を有しているが、軸受の傷の場合には軸受の内部で転動する部材とその部材が接触している部材との回転周期に相当する時間間隔で周波数特徴量 f_1 のピークが生じ、接触不良1、接触不良2の場合には回転機器の回転周期に相当する時間間隔で周波数特徴量 f_2 のピークが生じる。このように、時間特徴量の相違により両者が識別される。また、同様にして、接触不良1と接触不良2とは同じ時間特徴量 t_b ではあるが、周波数特徴量が異なるから識別可能である。

【0039】上述したように、周波数特徴量-時間特徴量の組を基準データと照合し、一致するか否かを判定すれば、異常の有無および異常の種類を特定することができる(S5)。なお、照合の際には周波数特徴量および時間特徴量に若干の幅をもたせておくことが必要である。ところで、波形データからスペクトルの時間変化を求めるには、比較的短い時間間隔でスペクトルを求める必要がある。この種の技術としては、短時間フーリエ変換やウェーブレット変換が知られている。これらの技術を用いると周波数特徴量を求めるために、各周波数特徴量ごとの多数のフィルタを用いることなく、一つの振動センサ3の出力のみによって振動解析が可能になる。

【0040】これらの変換について簡単に説明する。短時間フーリエ変換は、測定すべき波形データを $x(t)$ 、窓関数を $w(t, \Delta t)$ として、時刻 t_0 における局所的なスペクトル $X_s(t_0, w)$ を、 $x(t) w(t - t_0, \Delta t)$ のフーリエ変換により求めるものである。すなわち、数1のようになる。

【0041】

【数1】

50 サ3の出力である波形データに短時間フーリエ変換を施

して求めたスペクトルの時間変化は、たとえばそれぞれ図12ないし図14のようになる。これらの図によれば、上述した周波数特徴量 f_1, f_2 や時間特徴量 t_a, t_b が得られており、周波数特徴量と時間特徴量との組み合わせによって異常の種類を特定できることがわかる。

【0043】一方、ウェーブレット変換は、ウェーブレット関数という時間軸方向に拡大・縮小する窓関数を用いる点に特徴があり、元の波形データとウェーブレット*

$$g(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{a} \Psi_{a, b}(t) x(t) dt$$

$$\text{ただし、} \Psi_{a, b}(t) = \sqrt{a} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

【0045】ウェーブレット変換では、窓関数が時間軸方向に拡大・縮小されるから、図15に示すように、波形データの高周波領域ほど時間分解能を高くすることができ、低周波領域ほど周波数分解能が高くなる。なお、上述の例では振動解析の間には時間特徴量が変動しないものと仮定しているが、モータ1の回転速度が速度むらを有している場合がある。そこで、回転機器の回転速度を検出する手段（ロータリエンコーダなど）を設け、回転速度に応じて時間特徴量を補正すれば、回転速度にむらがある場合でも精度よく異常診断を行なうことができる。

【0046】（実施形態2）上記実施形態のようにしてスペクトルの時間変化から時間特徴量を求めるときに、実施形態1ではパワーが基準値を超える時間間隔を時間特徴量としているが、このようにして求めた時間間隔は誤差を含むことがあるから、誤差を考慮して時間特徴量を決定する必要がある。たとえば、図16に示すように、時間特徴量 t_a には、誤差 $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ が生じることがある。そこで、各周波数特徴量に関する時系列データを作成し自己相関演算を行なう。いま、一つの周波数特徴量に関して時系列データが $f(t)$ で表されるときに、自己相関関数 $\Phi_{xx}(\tau)$ は、数3のよう に表される。このような自己相関関数 $\Phi_{xx}(\tau)$ を求めると、自己相関関数 $\Phi_{xx}(\tau)$ を求めると図17のようになるから、時系列データ $f(t)$ の周期性を知ることができ、時間特徴量を決定することができる。

【0047】周波数特徴量の時系列データに対して自己相関関数 $\Phi_{xx}(\tau)$ に代えて高速フーリエ変換（FFT）を施してもよい。この場合、図18に示すように、特定の周波数に鋭いピークが生じるから、この周波数の逆数を時間特徴量として決定することができる。ただし、異常時に生じる波形データのピークが短時間で減衰するような波形であると、高速フーリエ変換を施したときに図19に示すように高調波成分による複数のピークが発生して時間特徴量を特定できない場合がある。そこ

* 関数とのコンボリューションを求めるものである。すなわち、ウェーブレット関数 $\Psi_{a, b}(t)$ は、マザーウェーブレット $\Psi(t)$ というウェーブレット関数の基準となる窓関数に、 a 倍のスケール変換を施し、原点を b だけシフトさせたものであり、これを用いて数2のようにウェーブレット変換を行なう。

【0044】

【数2】

$$\text{ただし、} \Psi_{a, b}(t) = \sqrt{a} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

で、このような場合には、高速フーリエ変換を施した後に、そのデータにさらに高速フーリエ変換を施して、いわゆるケプストラム演算を行なうようとする。この場合、図20に示すように、時間特徴量に鋭いピークが生じて時間特徴量を決定することができる。

【0048】（実施形態3）本実施形態は、複数種類の異常が同時に生じている場合を示すものであって、たとえば、回転機器の回転部分が固定部分に対して2箇所で接触している場合に、各箇所で異常が生じているとすれば、図21に示すように、2種類の周波数特徴量 f_3, f_4 が同時に検出されることになる。このような場合には、各周波数特徴量 f_3, f_4 を求めた後に、各周波数特徴量 f_3, f_4 ごとにそれぞれ時間特徴量 t_c, t_d を求めることにより、周波数特徴量一時間特徴量の組を特定することができる。したがって、図22に示すように、基準データとの照合によって異常原因 R_3, R_4 を特定することができる。

【0049】（実施形態4）本実施形態は、周波数特徴量と時間特徴量との組をテーブルによる基準データと照合せずに、ニューラルネットワークに入力することによって、異常の種類を識別するものである。具体的には図23に示すように、振動センサ3の出力から特徴量抽出部4において周波数特徴量と時間特徴量とを抽出し、ニューラルネットワークを用いた異常診断部5に入力するのである。異常診断部5は、既知の各種異常に対して周波数特徴量と時間特徴量とを与えるとともに、その異常原因に対応した学習信号を外部から与えることによって、バックプロパゲーション等の周知技術によって学習させたものであり、分類器として機能するものである。したがって、周波数特徴量と時間特徴量とを異常診断部5に与えると、異常原因に対応した出力を発生する。この場合、実施形態3のように周波数特徴量と時間特徴量とに複数種類の組があるときは、周波数特徴量一時間特徴量の組を異常診断部5に順に与えることになる。異常診断部5による診断結果は適宜の表示部6に表示させる

ようすればよい。

【0050】(実施形態5) 本実施形態は、図24に示すように、図8に示した実施形態1の構成に加振手段としてのボイスコイルモータ31を付加したものである。ボイスコイルモータ31は軸受台26aに機械的に結合される。ボイスコイルモータ31は、図9に示したボイスコイルモータ18と同様の構成を有するものであって、ヨーク31aと、永久磁石31bと、空心のコイル(ボイスコイル)31cとを備える。永久磁石31bは内側面と外側面とが異極性になるように着磁されており、コイル31cに流す励磁電流の向きに応じてコイル31cがヨーク31aの中央片の長手方向に直進移動するようになっている。また、ヨーク31aとコイル31cとは復帰ばね32により結合され、コイル31cに励磁電流を流していないときにはコイル31cがヨーク31aに対して定位置に保持されるようになっている。復帰ばね32にはコイルばねやダイアフラム状の板ばねなどが用いられる。さらに、コイル31cには連結軸33の一端が結合され、連結軸33の他端には重り34が結合されている。連結軸33はベース10に立設されスラスト軸受を備えた軸受台24により保持される。コイル31cに流す励磁電流は適宜の電流指令値をドライバ31dに与えることで制御される。また、軸受台26aにはヨーク31aが結合される。

【0051】しかし、コイル31cに流す電流をパルス状ないし正弦波状などとすることで軸受台26aに振動を加えることができる。つまり、コイル31cへの励磁電流に応じてヨーク31aとコイル31cとが相対的に移動しようとし、コイル31c側に適宜の質量の重り34が取り付けられることによって、軸受台26aに振動を加えることができる。

【0052】本実施形態は、振動センサ3の軸受台26aに対する取付状態や電磁クラッチ2の軸受台26aに対する取付状態などに異常がないか否かを検出しようと/orするものであって、モータ1を駆動していない状態でボイスコイルモータ31を駆動するようにしてある。具体的には異常診断部5が以下の手順で異常の有無を判断する。

【0053】まず、電磁クラッチ2の振動解析を行なう場合と同様に、モータ1と電磁クラッチ2のクラッチブーリ2aとの間にベルト21を掛け回す。このときには、図24に示すように、モータプレート13を軸受台26a, 26bに寄せておくことによってベルト24を緩めておく。その後、モータプレート13を移動させてベルト21に所要のテンションをかけた状態でモータプレート13をベース10に固定する。

【0054】その後、ボイスコイルモータ31を駆動して軸受台26aを振動させ、ボイスコイルモータ31に与えた電力P_iと、振動センサ3により検出した振動のパワーP_oとの比(=P_o/P_i)を複数の周波数につ

いて求める。この比は入出力のゲインに相当するものであり、数値が比較的小さくなるから、次式によってデシベルに換算したゲインGを求めるのが望ましい。

$$G = 10 \cdot \log (P_o / P_i)$$

装置が正常であるときに求めたゲインに基づいて設定した閾値としての上限値G_sおよび下限値G_i(一般には正常時のゲインGの平均値に一定値の加減算を行なった値)と比較し、図25(a)に示すように、求めたゲインGが上限値G_sと下限値G_iとの間であるときには(つまり、G_i < G < G_s)、振動センサ3が軸受台26aにがたつきなく取り付けられ、軸受台26aに電磁クラッチ2が確実に保持されていると判断する。このような判断を複数の周波数について行なうことによって、装置の正常・異常を点検することができる。ここにおいて、ボイスコイルモータ31に与える励磁電流がパルス状であれば1回の励磁でゲインGの周波数分布を知ることができ、励磁電流が正弦波状である場合には周波数を変化させながらゲインGを求めることになる。なお、装置に異常があれば図25(b)に示すように、求めたゲインGが上限値G_sと下限値G_iとの間から逸脱することになる。

【0055】加振手段としては、図26に示すように、圧電効果を利用したアクチュエータ35を用いてよい。この種のアクチュエータ35でもボイスコイルモータ31と同様に軸受台26aに振動を加えることができる。しかも、この種のアクチュエータ35は高周波での駆動が可能であってボイスコイルモータ31よりも測定周波数範囲を広くとることができる。さらに、この種のアクチュエータ35は外部から与えた電圧信号の指令値に応じて軸受台26aに加える力が変化させることができるが、逆に、軸受台26aに加えた力に応じてアクチュエータ35から電圧出力を得ることも可能である。そこで、加振手段であるアクチュエータ35を振動センサ3に兼用することによって部品点数を低減することができる。ただし、この構成ではアクチュエータ35により軸受台26aを振動させる期間と、アクチュエータ35を振動センサ3として用いる期間とはタイミングをずらしてある。ゲインGの測定にはパルス状ないし正弦波状の電圧信号を与える。

【0056】さらに、加振手段としては、図27に示すように、ハンマ36を用いてよい。ハンマ36は図示しないソレノイドなどの駆動源により駆動され、軸受台26aに衝撃力を与える。ハンマ36を用いると衝撃力を与えるから、1回の衝撃で多数の周波数成分を含む振動を軸受台26aに与えることができる。また、衝撃力を与えた後にハンマ36は軸受台26aから離れるから、振動センサ3および軸受台26aを含む機械系の振動状態をより正確に検出することができる。ここで、ハンマ36において軸受台26aに衝撃力を作用させる部位にはロードセル37を設け、衝撃力を測定することで

軸受台26aに与えた衝撃力を正確に測定することができる。

【0057】本実施形態においては、ゲインGが上限値Gsと下限値Giとの範囲内か否かのみで正常・異常を判断しているが、たとえば、ゲインGの周波数分布が図28に示すような形になっていると、ゲインGが上限値Gsと下限値Giとの範囲内ではあるもののゲインGの周波数分布のパターンには類似性がみられない。このような場合には装置が正常ではないことが多い。そこで、上限値Gsおよび下限値Giとの平均値を点検用データとして用いるとともに、この平均値とゲインGとの相関値を求め、求めた相関値を閾値と比較し、相関値が閾値以上(つまり類似度が高い)ときに正常と判断するようにもよい。

【0058】

【発明の効果】請求項1の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものであり、周波数特徴量と時間特徴量とを組み合わせて異常原因を特定するから、従来のように周波数のみを用いて異常原因を特定するものに比較して異常原因の判別精度が高くなるという利点がある。

【0059】請求項2の発明のように、波形データに短時間フーリエ変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めるとき、1つの波形データに基づいて多数のフィルタを用いることなく周波数特徴量および時間特徴量を求めることができるという利点がある。請求項3の発明のように、波形データにウェーブレット変換を施すことにより波形データのスペクトルの時間変化を求めるとき、高周波領域では時間分解能が高くなり低周波領域で周波数分解能が高くなるから、周波数特徴量および時間特徴量を効率よく抽出することができるという利点がある。

【0060】請求項4の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して自己相関演算を行ない、自己相関値がピークになる時間間隔を時間特徴量に用いるものでは、各周波数特徴量についてピークが生じる時間間隔に多少のずれがあつても時間特徴量としてよい値を求めるができるという利点がある。

【0061】請求項5の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高

速フーリエ変換を行ない、最大値が得られる周波数の逆数を時間特徴量に用いるものでは、各周波数特徴量におけるピークの発生周期が抽出しやすくなるという利点を有する。請求項6の発明のように、周波数特徴量を求めた後に、各周波数特徴量の時系列データに対して高速フーリエ変換を2回行なうケプストラム演算を行ない、最大値が得られるケフレンシー値を時間特徴量に用いるものでは、ピークの減衰が速い場合でもピークの発生周期を容易に抽出することができるという利点を有する。

【0062】請求項7の発明のように、複数の周波数特徴量についてそれぞれ時間特徴量を求め、周波数特徴量一時間特徴量の各組を基準データに照合するものでは、異常原因が複数存在する場合でも異常原因を特定することができるという利点を有する。請求項8の発明のように、回転機器の回転速度を検出し、回転速度に応じて時間特徴量を補正するものでは、回転機器の回転速度が変動する場合でも異常原因を特定することが可能になる。

【0063】請求項9の発明は、回転機器の回転時に発生する振動ないし音のような波形データを検出し、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求め、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組と異常原因別とを対応付けるようにあらかじめ学習させたニューラルネットワークに与えることによって、回転機器の異常の有無および異常原因を特定するものであり、ニューラルネットワークを異常原因の分類に用いているから、異常が発生したときに学習させるだけで異常原因の分類が可能になるという利点がある。つまり、基準データの設定が不要になるものである。

【0064】請求項10の発明のように、各周波数特徴量ごとに重み付けした基準値をそれぞれ設定し、各周波数特徴量ごとの時系列データがそれ以上記基準値を超える時点の時間間隔を各周波数特徴量ごとの時間特徴量に用いるものでは、一律に基準値を設定する場合よりも、回転機器の条件に適合した周波数特徴量と時間特徴量とを得ることができ、異常原因の判別精度が向上する。

【0065】請求項11の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、かつ駆動源は防振されているものでは、駆動源から回転機器への振動の伝達を抑制することができ、波形データ中のノイズが少なくなるという利点がある。請求項12の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、回転機器が駆動されている間のベルトのテンションを一定に保つものでは、回転機器の振動計測条件が一定になり診断精度の向上につながる。

【0066】請求項13の発明のように、ベルトのテン

ションを一定値としたときの駆動源と回転機器との軸間距離を求ることによりベルトの伸び量を求めるものでは、ベルトの伸び量を管理することができ、ベルトの交換時期を知ることができるという利点がある。請求項14の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、上記波形データからベルトの振動周波数の周波数成分を除去した後に波形データのスペクトルの時間変化を求めるものでは、ベルトの振動によるノイズを除去して異常診断を行なうことができる。

【0067】請求項15の発明のように、駆動源と回転機器との軸間距離およびベルトのテンションに基づいてベルトの振動周波数を算出するものでは、ベルトのテンションが変化してもベルトの振動周波数を知ることができるとから、ベルトの振動によるノイズを容易に除去することができる。請求項16の発明のように、駆動源から回転機器に対してベルトを介して動力を伝達し、駆動源と回転機器との軸に直交する面内にベルトを位置させるものでは、ベルトが軸方向に滑らないから不要な振動が発生せず異常診断の精度が向上するものである。

【0068】請求項17の発明は、回転機器の回転時に発生する振動のような波形データを検出する振動センサと、この波形データのスペクトルの時間変化を求め、スペクトルの時間変化からピークを生じる周波数を周波数特徴量として求めるとともに、各周波数特徴量ごとにピークを生じる時間間隔を時間特徴量として求める特徴量抽出部と、回転機器の回転時の波形データから求めた周波数特徴量一時間特徴量の組を、回転機器の異常時における周波数特徴量一時間特徴量の組を異常原因別にあらかじめ登録してある基準データに照合することによって回転機器の異常の有無および異常原因を特定する異常診断部とを備えるものでは、周波数特徴量と時間特徴量とを組み合わせて異常原因を特定するから、従来のように周波数のみを用いて異常原因を特定するものに比較して異常原因の判別精度が高くなるという利点がある。

【0069】請求項18の発明のように、駆動源から回転機器に対して動力を伝達するベルトと、駆動源の振動を回転機器に伝達しないように駆動源を支持する振動緩衝材とを備えるものでは、駆動源からの振動が回転機器にほとんど伝達されないから、振動センサが不要な振動成分を検出することがなく、異常診断の精度が向上するものである。

【0070】請求項19の発明のように、振動緩衝材を挟んだ両側の振動を検出する一対のセンサを備え、両センサの出力に基づいて振動緩衝材の伝達関数を求め、伝達関数の経時的变化により振動緩衝材の劣化を検出する手段を備えるものでは、振動緩衝材の伝達関数を管理することによって、振動緩衝材の劣化を管理することができる。

【0071】請求項20の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベ

ルトを含む面内に規制するリニアガイドを備えるものでは、駆動源の移動方向が規制されて不要な振動成分の発生を防止することができるとともに、ベルトのテンションを適宜に調節することができるようになる。請求項21の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能とし、かつ駆動源の移動範囲をベルトを含む面内に規制する空気軸受を備えるものでは、リニアガイドに比較して駆動源をより滑らかに移動させることができるようになる。

【0072】請求項22の発明のように、駆動源を回転機器に対して移動可能に支持する支持手段と、駆動源を移動させる移動手段とを備えるものでは、移動手段によって駆動源を容易に移動させることができる。請求項23の発明のように、駆動源と回転機器との距離を検出する距離センサを備えるものでは、距離の検出によりベルトの伸び量を求めたりベルトのテンションを求めたりすることができるようになり、結果的にベルトの劣化を検出してベルトの交換時期の目安を与えることができるという利点がある。

【0073】請求項24の発明のように、駆動源の非動作時に回転機器を加振する加振手段を設け、異常診断部が、加振手段により回転機器を加振したときに振動センサで検出される波形データに基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するものでは、回転機器に対する振動センサの取付状態などの点検が可能になり、再現性のよい異常診断が可能になる。

【0074】請求項25のように、加振手段をボイスコイルモータとしたものでは、回転機器に加える振動を正確に制御しやすく、回転機器や振動センサの異常の有無を判定しやすくなる。請求項26の発明のように、加振手段を圧電効果を用いたアクチュエータとしたものは、回転機器に加える振動の周波数を高くすることができ、広い周波数領域に亘って回転機器と振動センサとの異常の有無を点検することができる。

【0075】請求項27の発明のように、加振手段が振動センサと兼用されているものでは、加振手段を用いながらも構成要素を少なくすることができるという利点を有する。請求項28の発明のように、加振手段を回転機器に衝撃力を与えるハンマとしたものでは、加振手段としてボイスコイルモータやアクチュエータに比較すると構成が簡単になるという利点がある。

【0076】請求項29の発明のように、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で入出力のゲインを求め、このゲインをあらかじめ設定してある正常範囲と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものでは、ゲインと閾値との比較によって回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するから、回転機器と振動センサとの取付状態などに異常がないか否かを

容易に診断することができるという利点がある。

【0077】請求項30の発明のように、請求項24ないし請求項28記載の回転機器の異常診断装置において、駆動源を動作させる前に加振手段により回転機器を加振するとともに振動センサの出力に基づいて異常診断部で複数の周波数での入出力のゲインを求め、求めたゲインとあらかじめ設定してある点検用データとの相関値を求め、求めた相関値をあらかじめ設定してある閾値と比較することにより回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を点検するものでは、複数の周波数で求めたゲインと点検用データとの相関値を求め、相関値に基づいて回転機器と振動センサとを含む機械系の異常の有無を判断するから、請求項29の構成に比較してより正確に異常の有無を判断することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1を示し、(a)はブロック図、(b)は動作説明図である。

【図2】同上の測定装置を示す平面図である。

【図3】同上の測定装置を示し、(a)はベルトを装着する際の側面図、(b)は測定状態の側面図である。

【図4】同上に用いる電磁クラッチの断面図である。

【図5】同上において空気軸受を用いた場合の一部破断側面図である。

【図6】同上において振動緩衝材の伝達関数を測定する例を示す側面図である。

【図7】同上における振動緩衝材の伝達関数の変化を示す図である。

【図8】同上においてエアシリンダを用いた例を示す側面図である。

【図9】同上においてボイスコイルモータを用いた例を示す平面図である。

【図10】同上において距離センサを用いた例を示す側面図である。

【図11】同上に用いる基準データの一例を示す図である。

【図12】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

10

20

30

*

* 【図13】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図14】同上におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図15】同上に用いるウェーブレット変換の概念図である。

【図16】実施形態2におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図17】同上において自己相関関数を用いた例を示す図である。

【図18】同上において高速フーリエ変換を適用した例を示す図である。

【図19】同上において高速フーリエ変換を適用した場合の問題例を示す図である。

【図20】同上においてケプストラム演算を行なった例を示す図である。

【図21】実施形態3におけるスペクトルの時間変化の例を示す図である。

【図22】同上における基準データの例を示す図である。

【図23】実施形態4を示すブロック図である。

【図24】実施形態5を示し、(a)は平面図、(b)は側面図である。

【図25】同上の動作説明図である。

【図26】同上の他の構成例を示す平面図である。

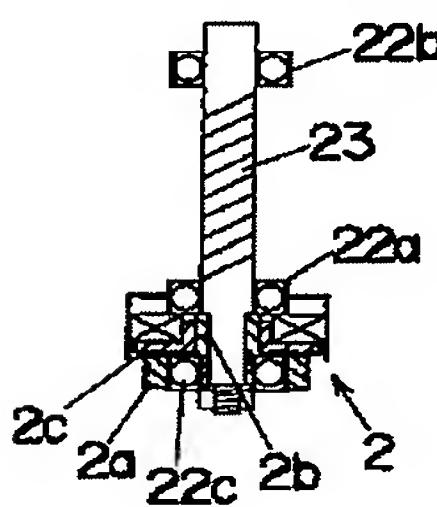
【図27】同上のさらに他の構成例を示す平面図である。

【図28】同上の動作説明図である。

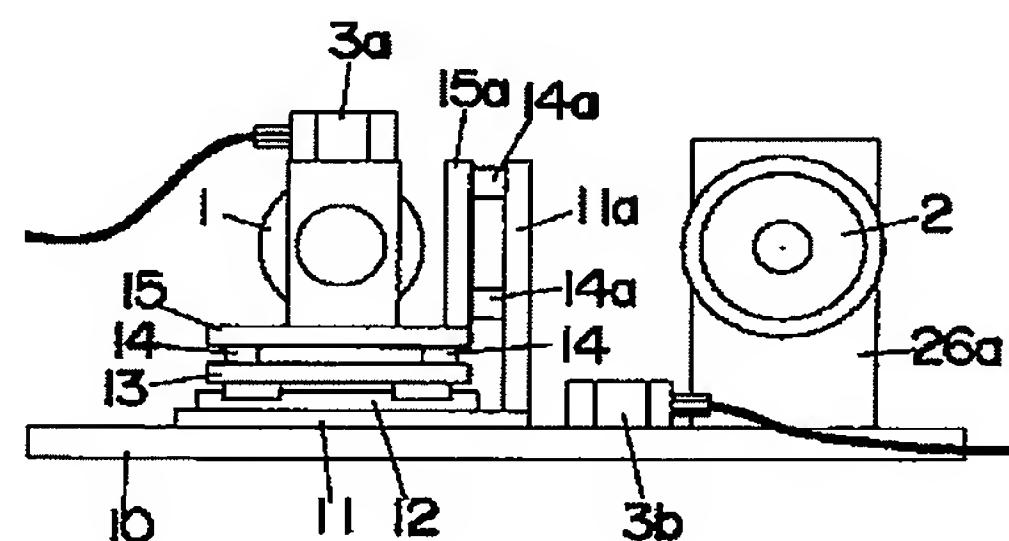
【符号の説明】

1	モータ
2	電磁クラッチ
3	振動センサ
4	特微量抽出部
5	異常診断部
31	ボイスコイルモータ
35	アクチュエータ
36	ハンマ

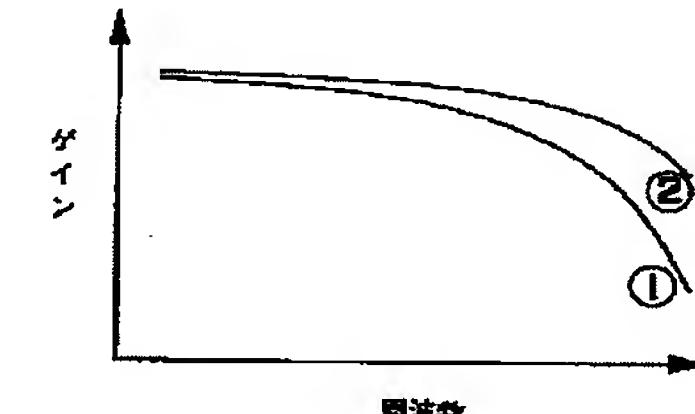
【図4】



【図6】

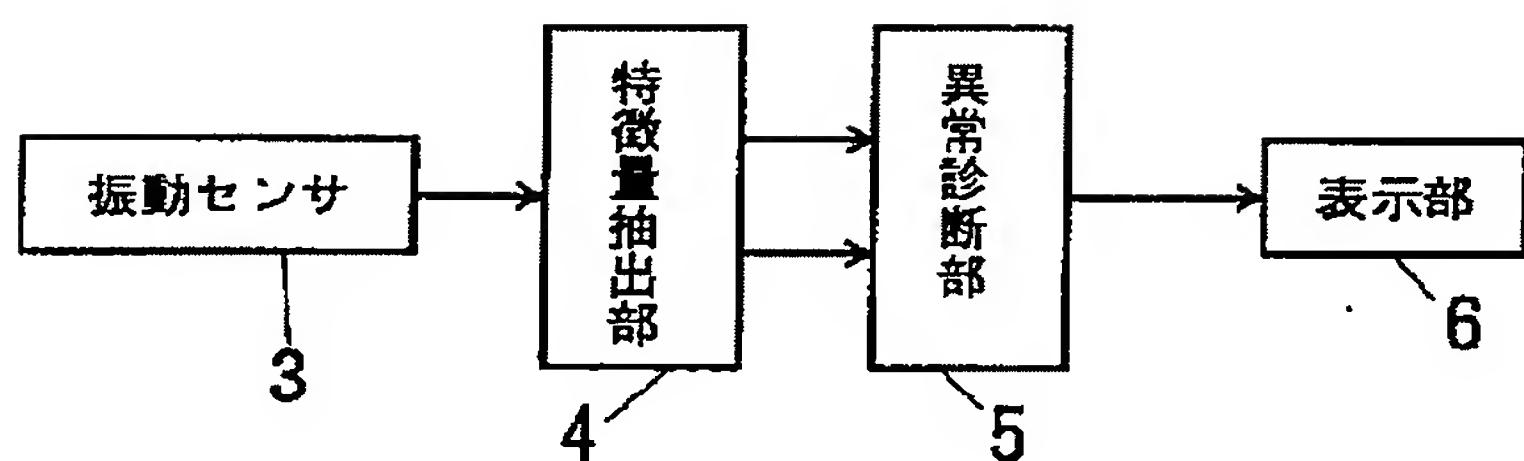


【図7】



【図1】

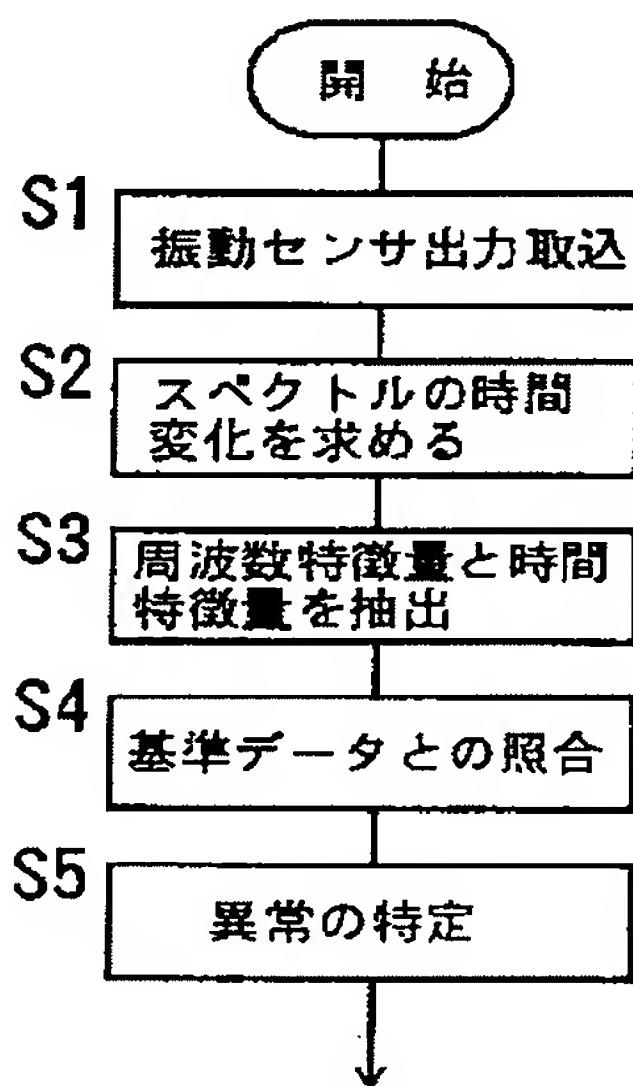
(a)



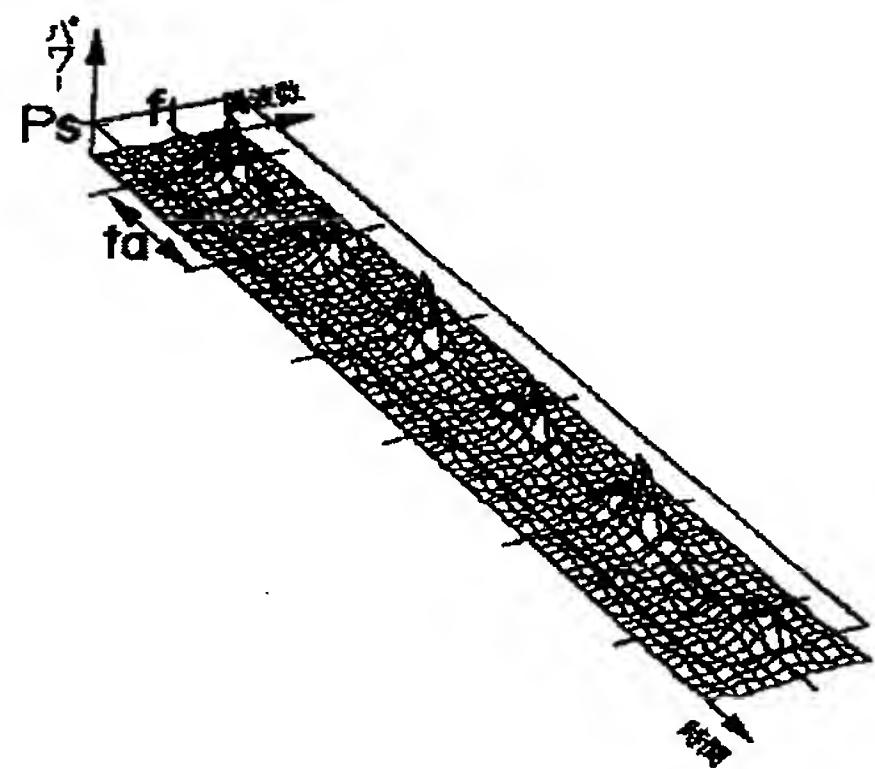
【図11】

		f1	f2	f3	f4	f5	f6
時間特徴量	ta	R1					
	tb	R2	R3				
tc							
td							
te							
tf							

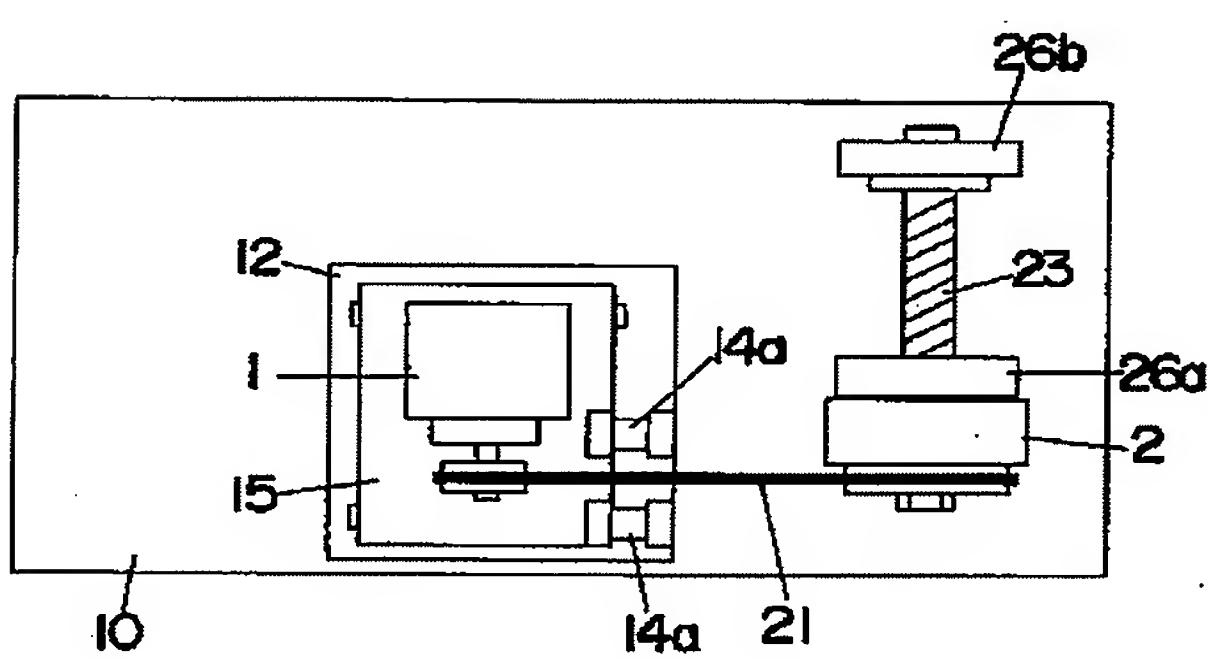
(b)



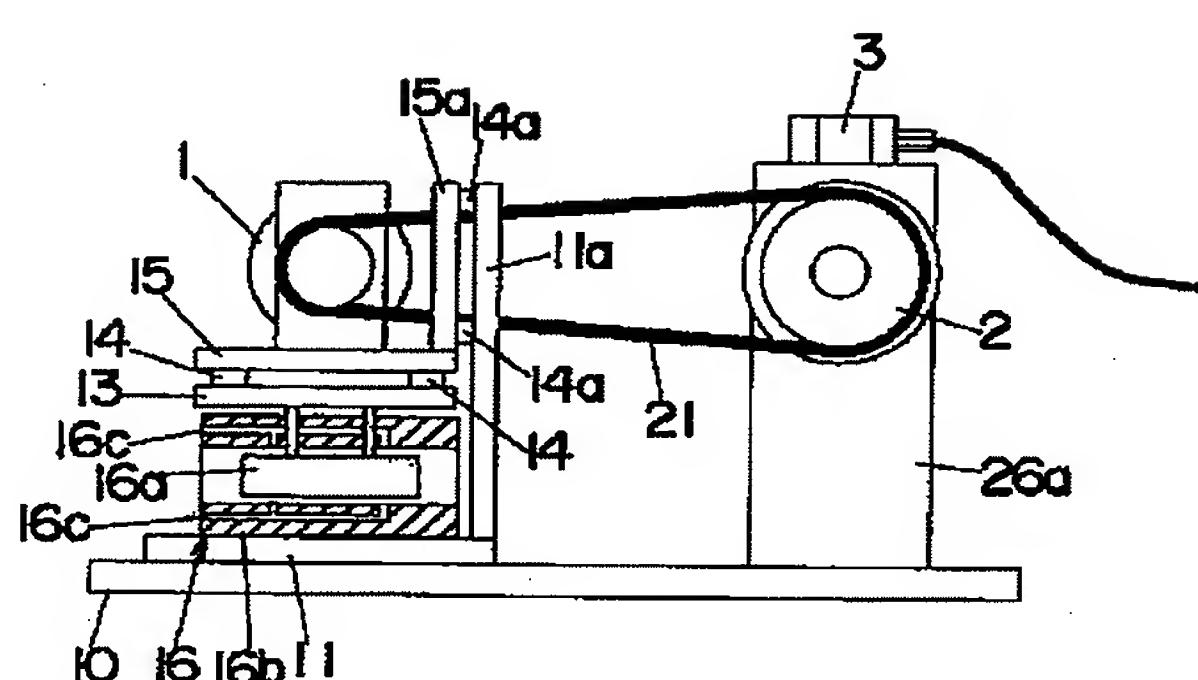
【図12】



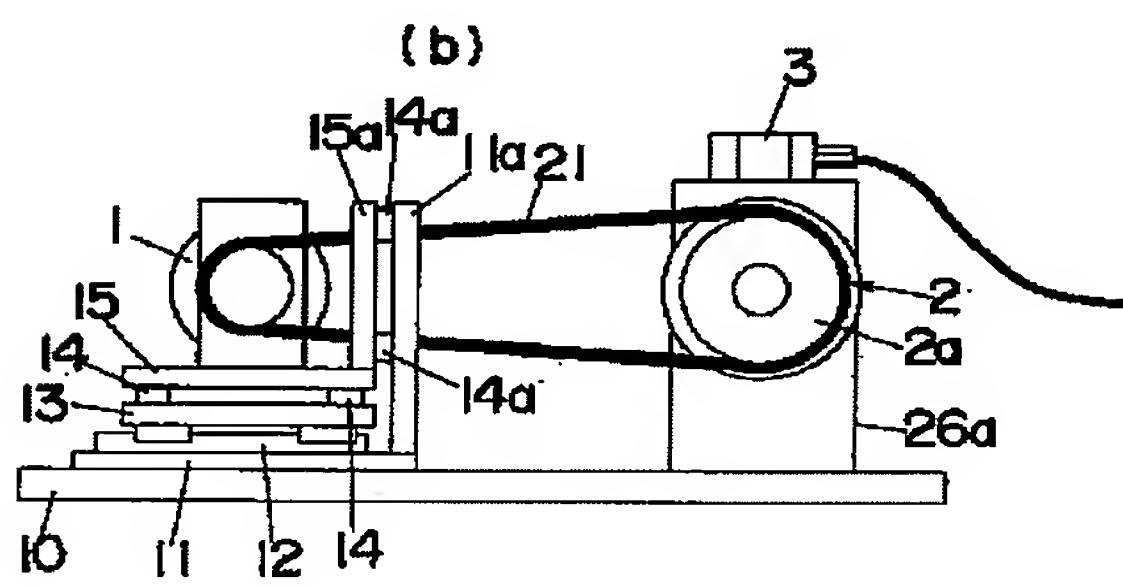
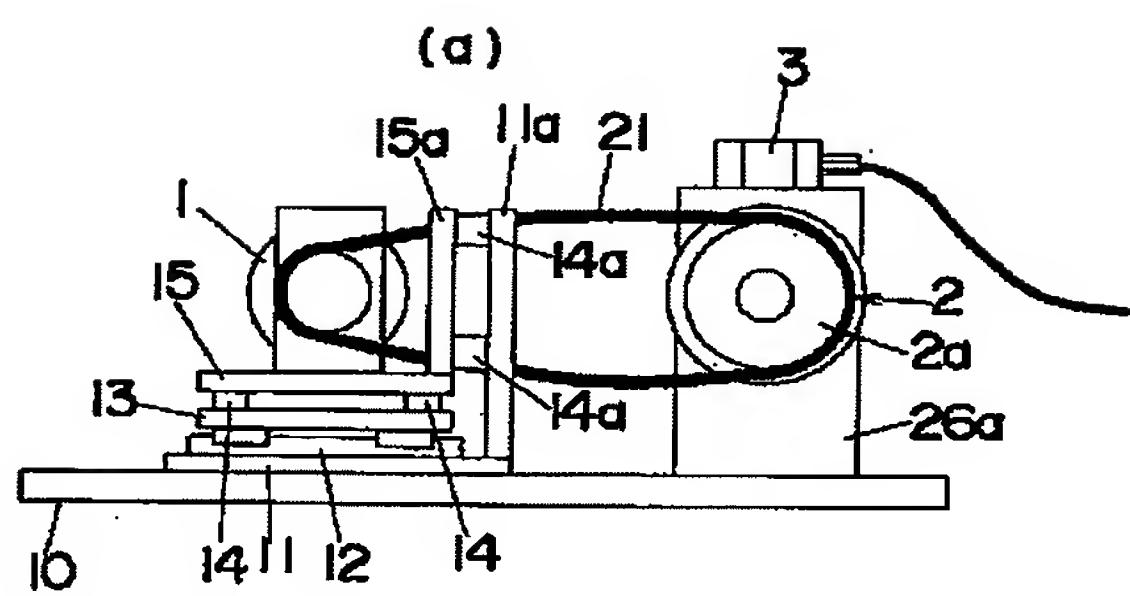
【図2】



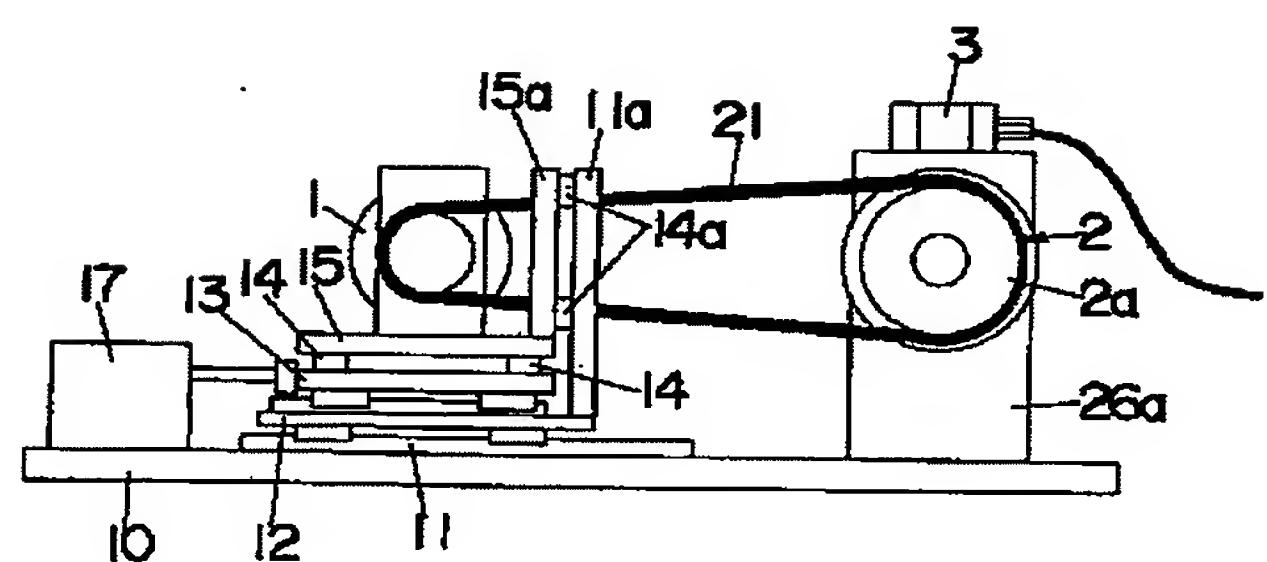
【図5】



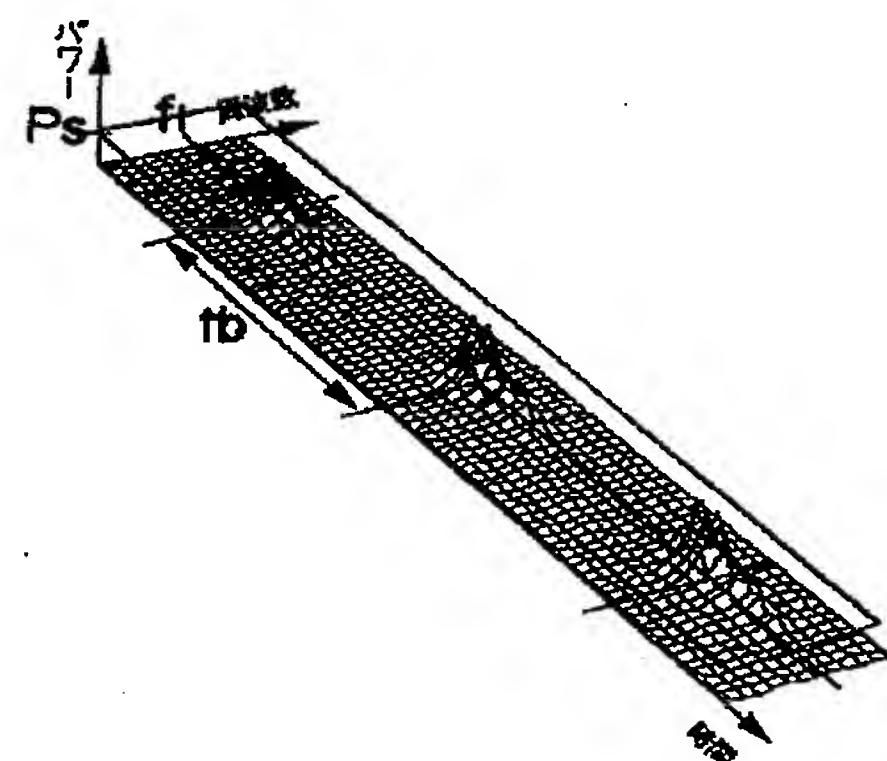
【図3】



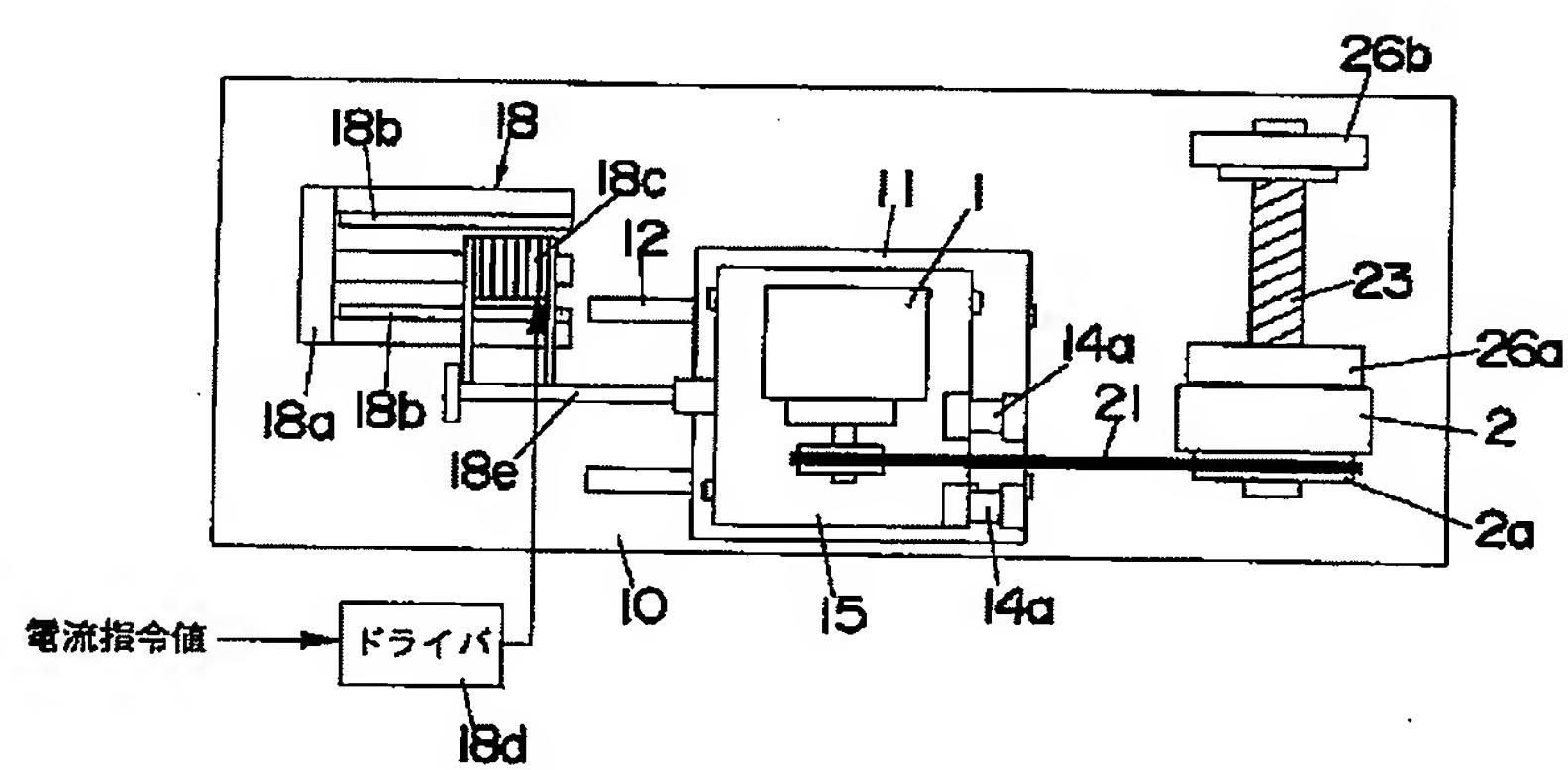
【図8】



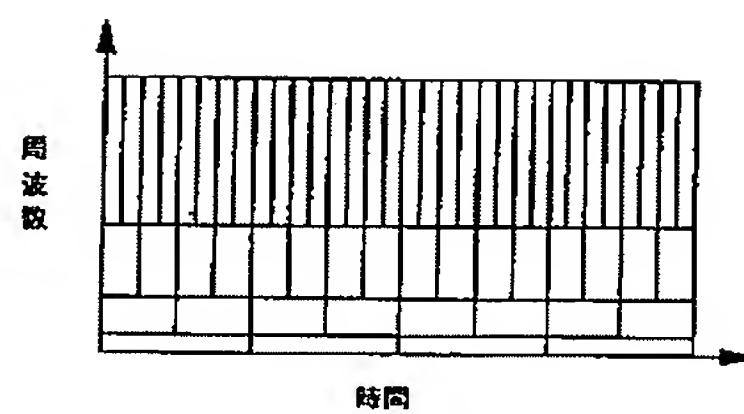
【図13】



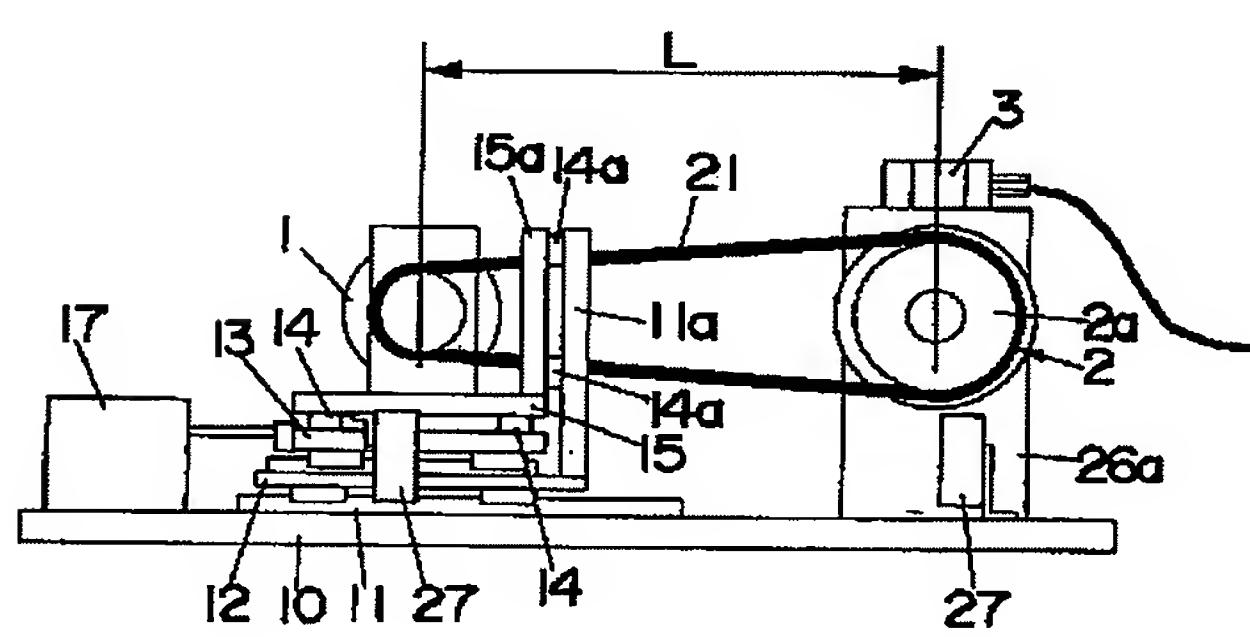
【図9】



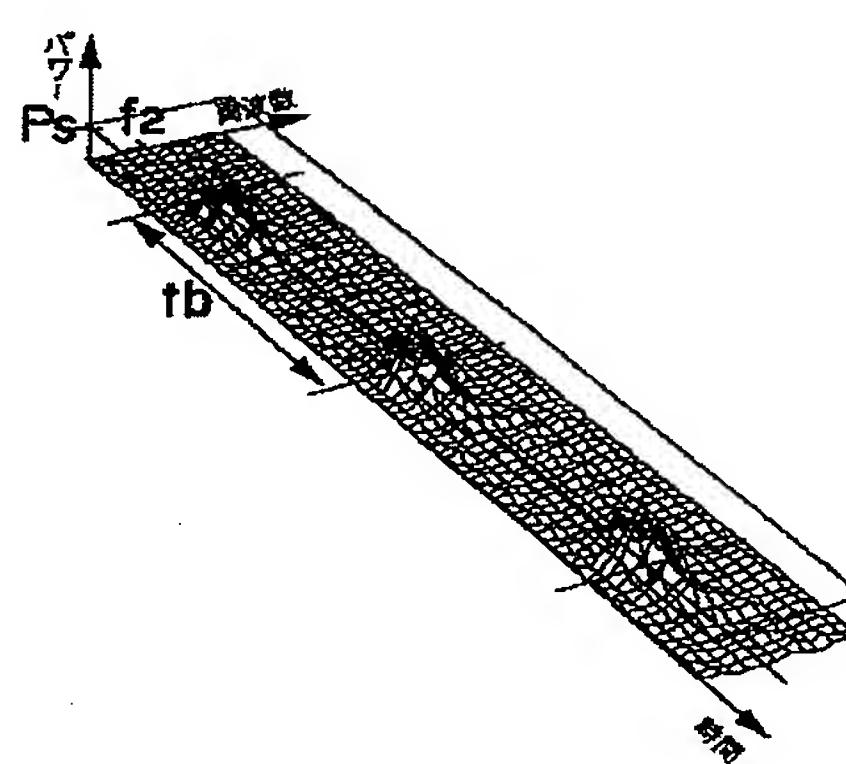
【図15】



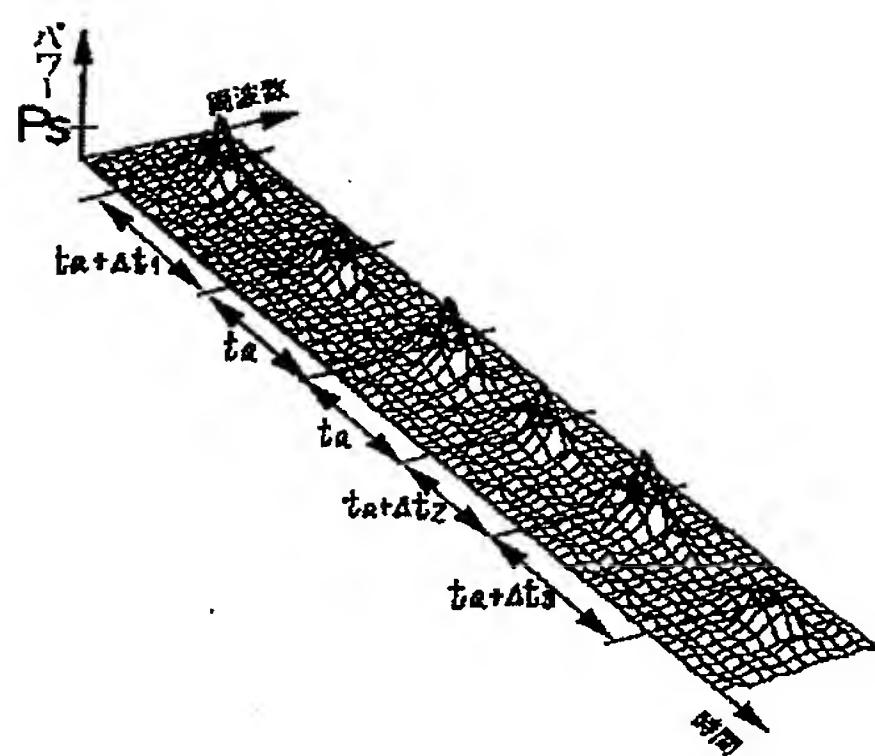
【図10】



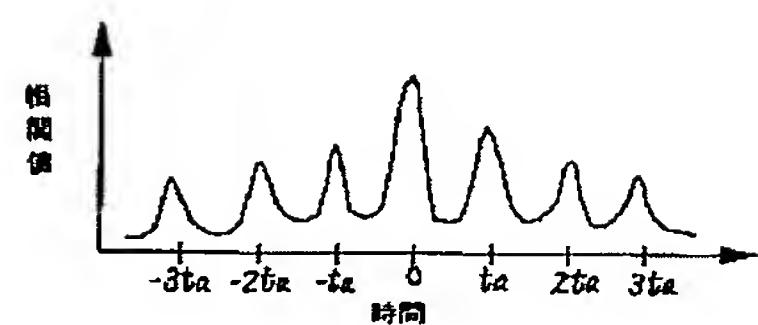
【図14】



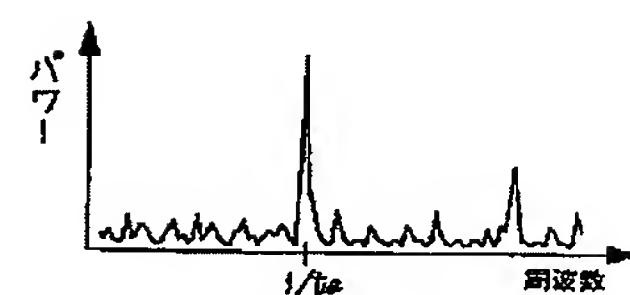
【図16】



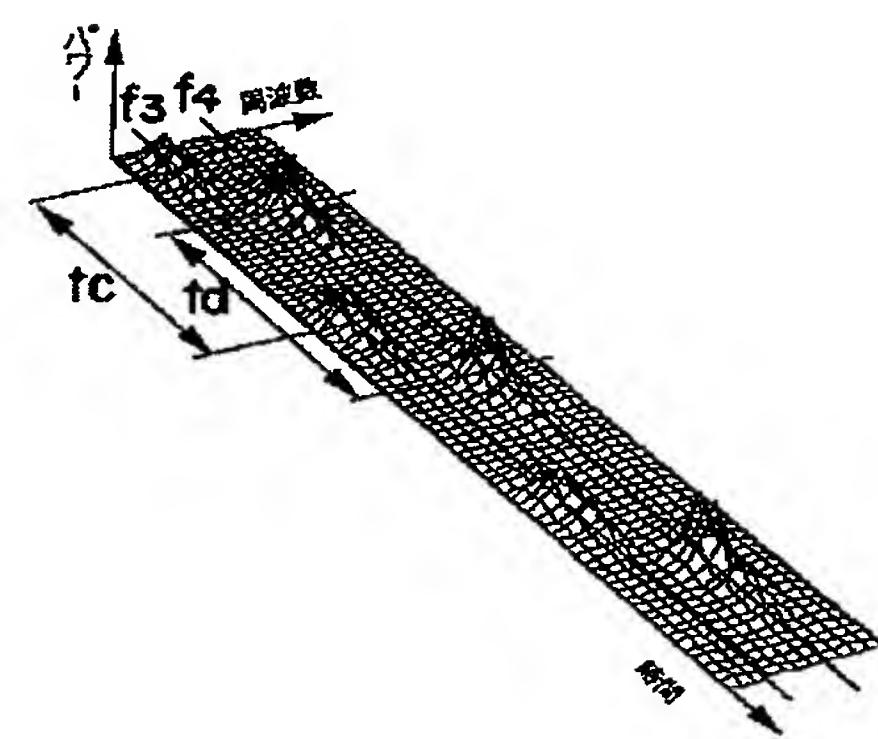
【図17】



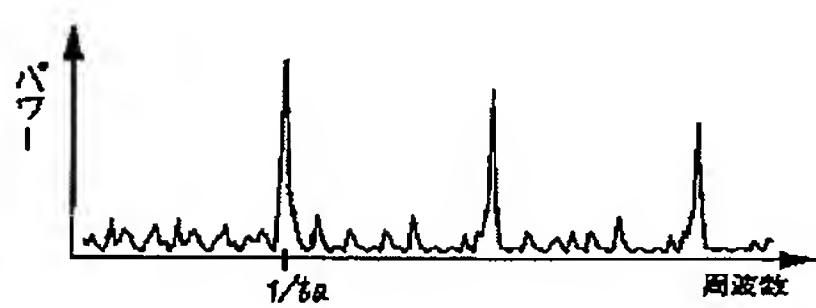
【図18】



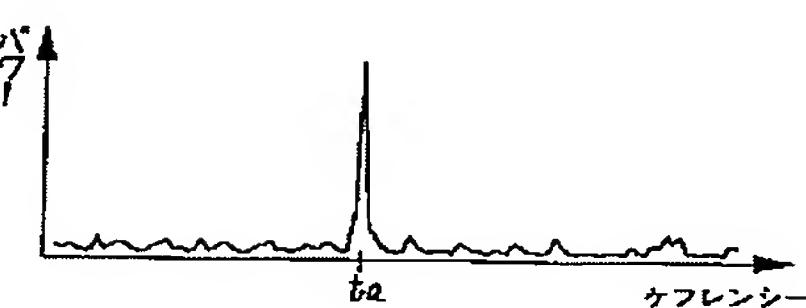
【図21】



【図19】



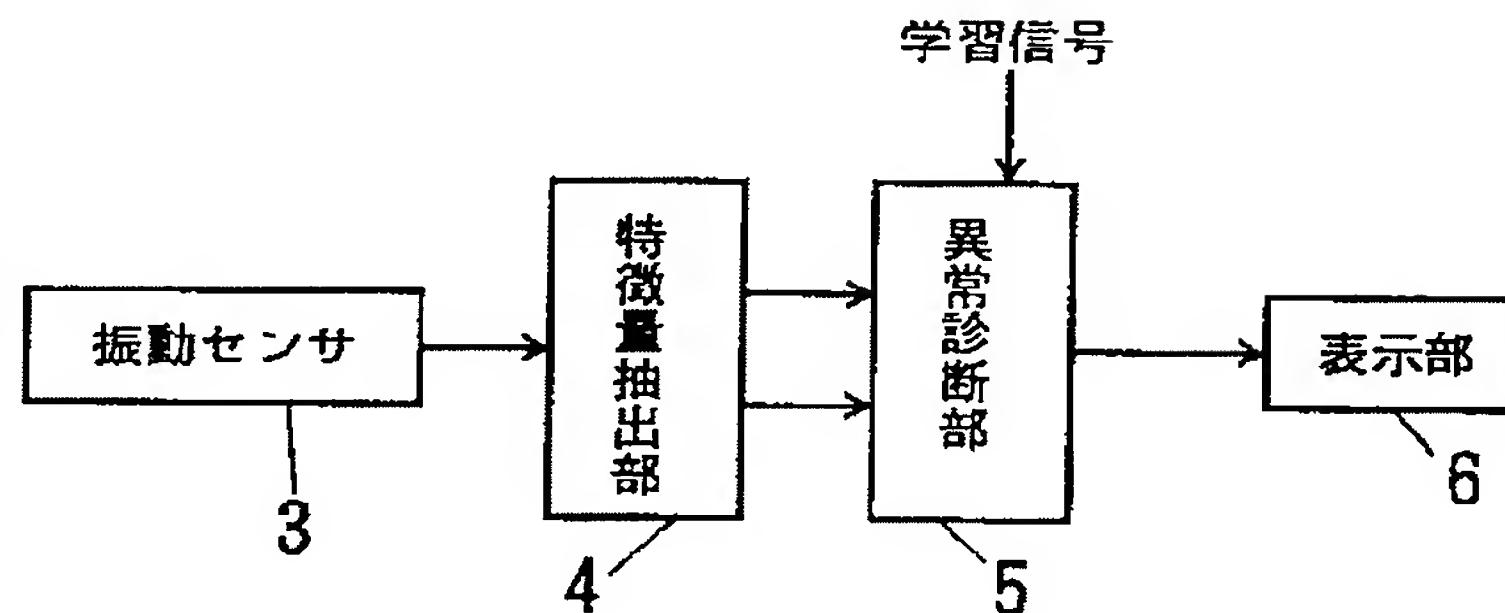
【図20】



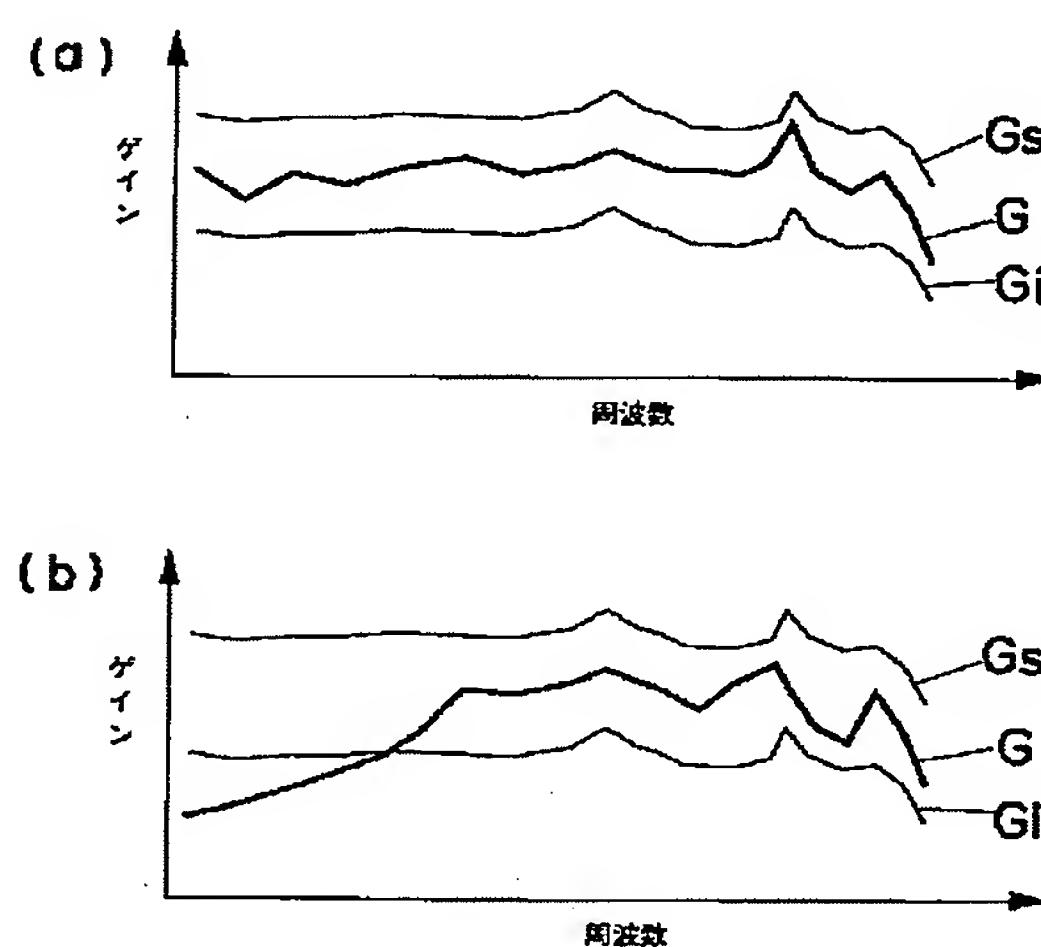
【図22】

周波数特微量						
	f 1	f 2	f 3	f 4	f 5	f 6
t a						
t b						
t c	→		R 3			
t d		→	R 4			
t e						
t f						

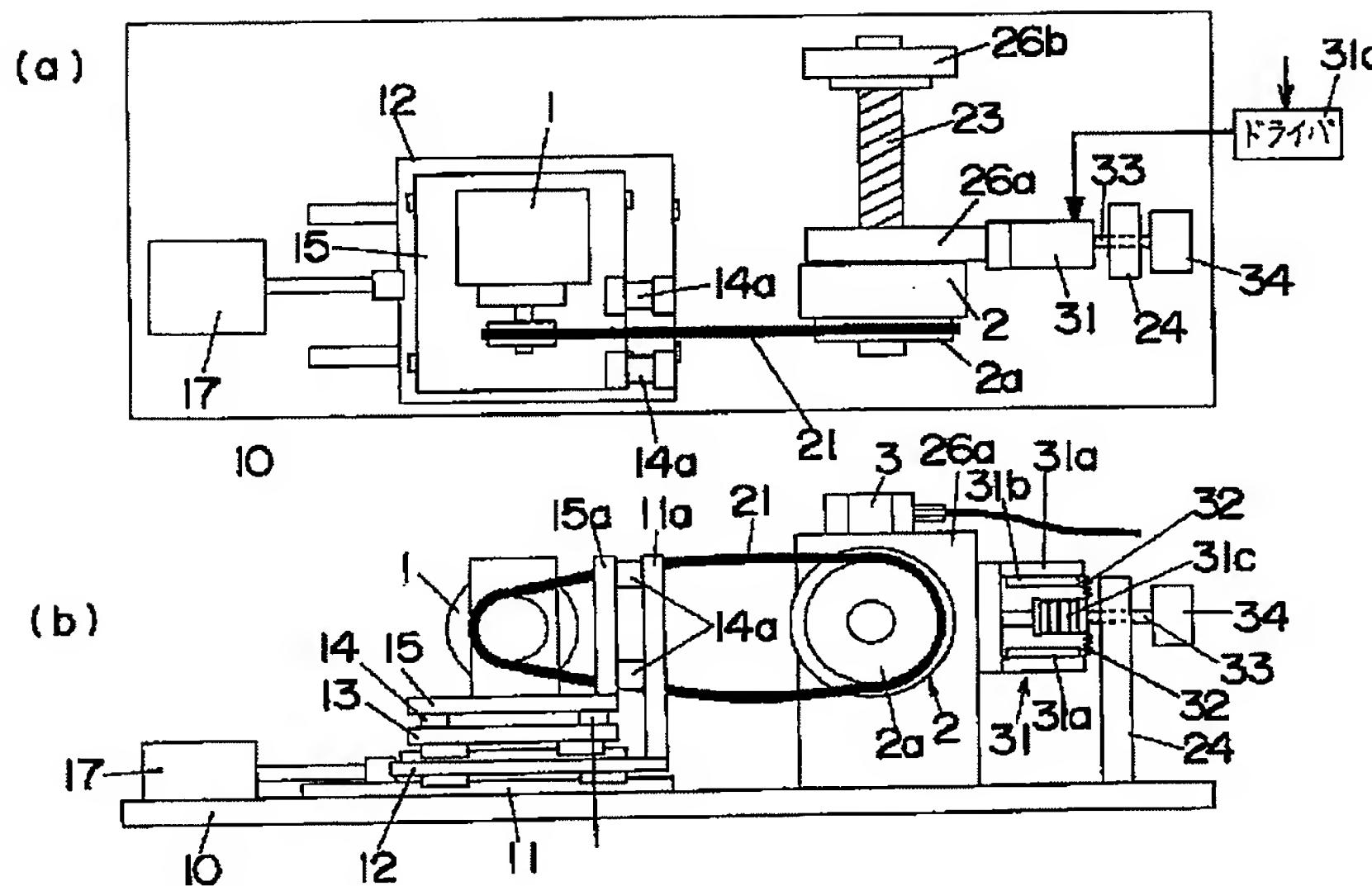
【図23】



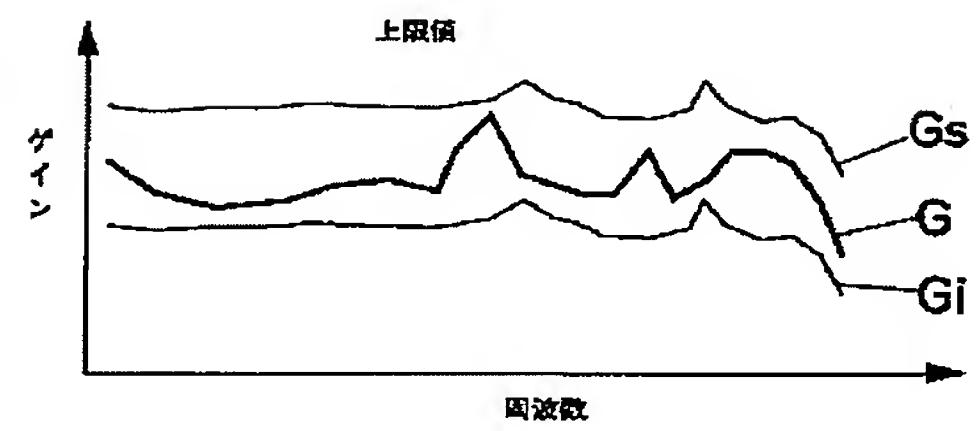
【図25】



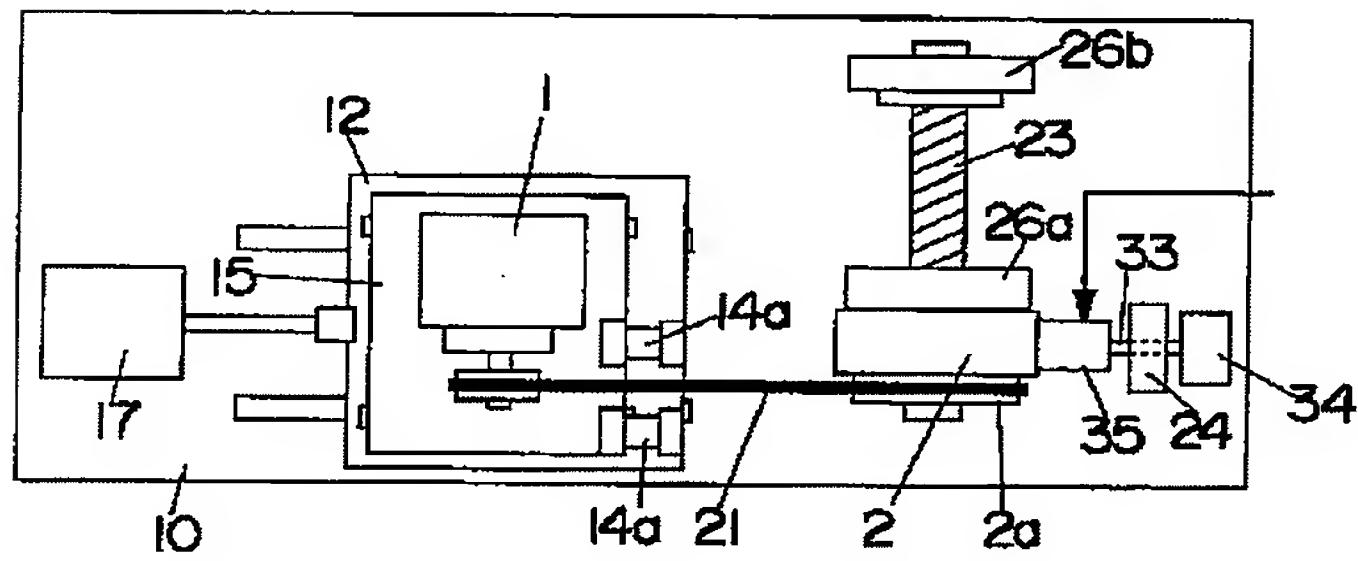
〔 2 4 〕



【图28】



〔四〕 26



〔四〕 27

